

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01
«Электроснабжение промышленных предприятий»
дневной и заочной форм обучения**

**В двух частях
Часть 1**

Гомель 2014

УДК 621.311.031:658.26(075.8)
ББК 31.29-5я73
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 24.12.2013 г.)*

Авторы: А. Г. Ус, В. В. Бахмутская, О. С. Шведова, И. В. Петров

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Тодарев*

Электроснабжение промышленных предприятий : лаборатор. практикум по одному курсу для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» днев. и заоч. форм обучения : в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Ус [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 54 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит краткие теоретические сведения, задания и порядок выполнения шести лабораторных работ, позволяющие закрепить навыки по исследованию режимов работы нейтрали в электрических сетях, определению групп соединения трехфазных трансформаторов и изучению защитных аппаратов в электрических сетях.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.031:658.26(075.8)
ББК 31.29-5я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2014

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Определение основных физических величин и безразмерных показателей графиков нагрузки.

Цель работы:

- 1) Изучение основных физических величин графиков нагрузки
- 2) Определение безразмерных показателей графиков нагрузки.

Теоретическая часть

Под нагрузкой в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительным прибором с достаточно малой инерцией, например, стрелочным амперметром. Обычно имеют дело с тремя видами нагрузок: по току I , по активной P и реактивной Q мощностям. Кривая изменения нагрузки во времени $I(t)$, $P(t)$ или $Q(t)$ называется графиком нагрузки. Следует различать *индивидуальные* и *групповые* графики нагрузки. Индивидуальные графики нагрузки создаются отдельными электроприемниками, их будем обозначать $I_i(t)$, $P_i(t)$ или $Q_i(t)$.

Для большинства заводских электроприемников характерна цикличность их работы, обусловленная многократным повторением тех операций комплексного технологического процесса, которые выполняются на агрегате, обслуживаемом данным электроприемником. Вследствие этого индивидуальные графики обладают большей или меньшей регулярностью, которую необходимо учитывать при исследовании и расчетах нагрузок. Большое разнообразие возможных режимов работы электроприемников затрудняет четкую их классификацию по степени регулярности, однако, практически достаточно установить лишь основные типы графиков. Различают три характерных режима работы электроприемников, от которых зависит форма графиков нагрузки: 1) продолжительный; 2) кратковременный; 3) повторно-кратковременный (ПКР).

В свою очередь электроприемники продолжительного режима работы делят на две разновидности по виду графиков нагрузки:

- а) электроприемники с непрерывным (однородным) режимом работы (большинство вентиляторов, насосов, компрессоров, электролизные установки и ряд других);
- б) электроприемники, которые в процессе технологического цикла отключаются (неоднородный режим работы).

На рис. 1.1 приведены графики нагрузки для различных режимов работы электроприемников.

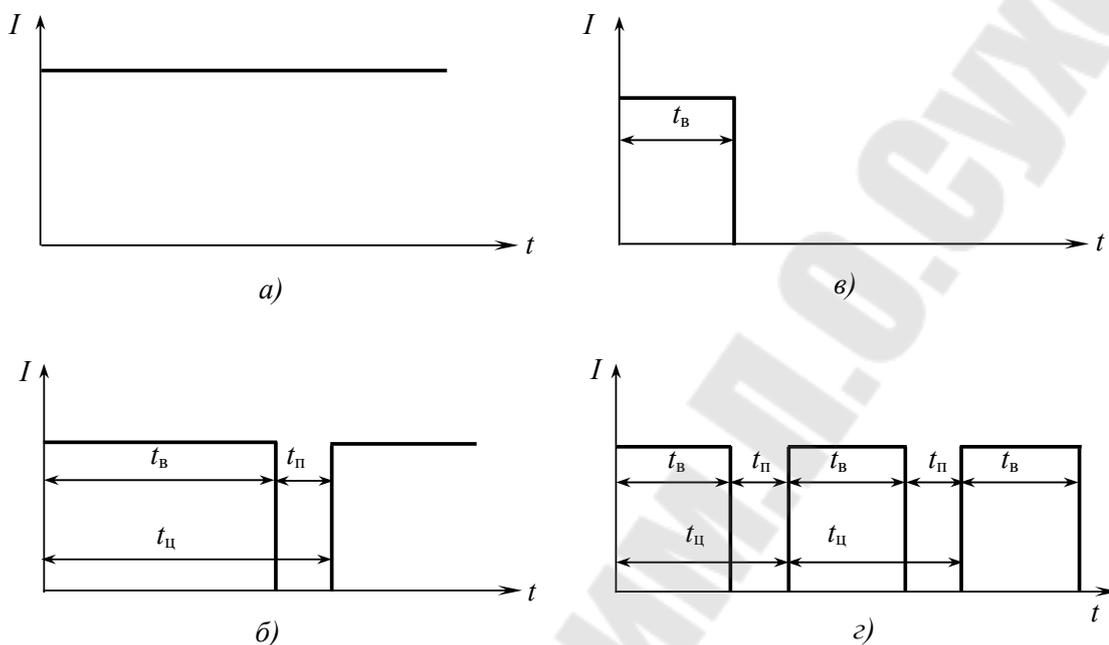


Рис. 1.1 - Графики нагрузки электроприемников: а) продолжительный непрерывный режим работы; б) продолжительный режим с перерывами; в) кратковременный режим; г) повторно-кратковременный режим

Повторно-кратковременный режим характеризуется продолжительностью включения ($ПВ$), которая определяется по следующему выражению, %:

$$ПВ = \frac{t_{\epsilon}}{t_{\epsilon} + t_n} \cdot 100 = \frac{t_{\epsilon}}{t_y} \cdot 100. \quad (1.1)$$

Величина t_y при ПКР должна быть не более 10 мин. Электроприемники с продолжительным режимом работы характеризуются коэффициентом включения, отн. ед.:

$$k_{\epsilon} = \frac{t_{\epsilon}}{t_{\epsilon} + t_n} = \frac{t_{\epsilon}}{t_y}. \quad (1.2)$$

Величина t_y в продолжительном режиме должна быть более 10 мин.

По виду изменения нагрузки, времени включения t_e и пауз t_n индивидуальные графики делятся на: 1) периодические; 2) циклические; 3) нециклические; 4) нерегулярные [1].

Периодические графики (рис. 1.2а) отвечают строго ритмичному производству с одинаковыми токами и временами t_n , t_e , t_u . Такие графики имеют, например, отдельные станки в автоматических поточных линиях.

Циклические графики (рис. 1.2б) имеют электроприемники поточных линий, где имеются ручные операции, например, установка, подгонка деталей, их съем и т. д. Времена пауз t_n и циклов t_u у таких графиков изменяются по случайному закону.

Нециклические графики (рис. 1.2в) имеют электроприемники, когда выполняемые ими операции строго не регламентированы, например, станки на ремонтных участках. В этом случае случайными являются все времена t_n , t_e и t_u , а также меняется и величина нагрузки от цикла к циклу.

Нерегулярные графики (рис. 1.2г) имеют электроприемники, которые обслуживают технологические процессы с неустановившимся характером. Например, электропривод для бурения скважин большой глубины будет создавать нерегулярный график нагрузки, так как твердость породы и ее толщина все время меняются.

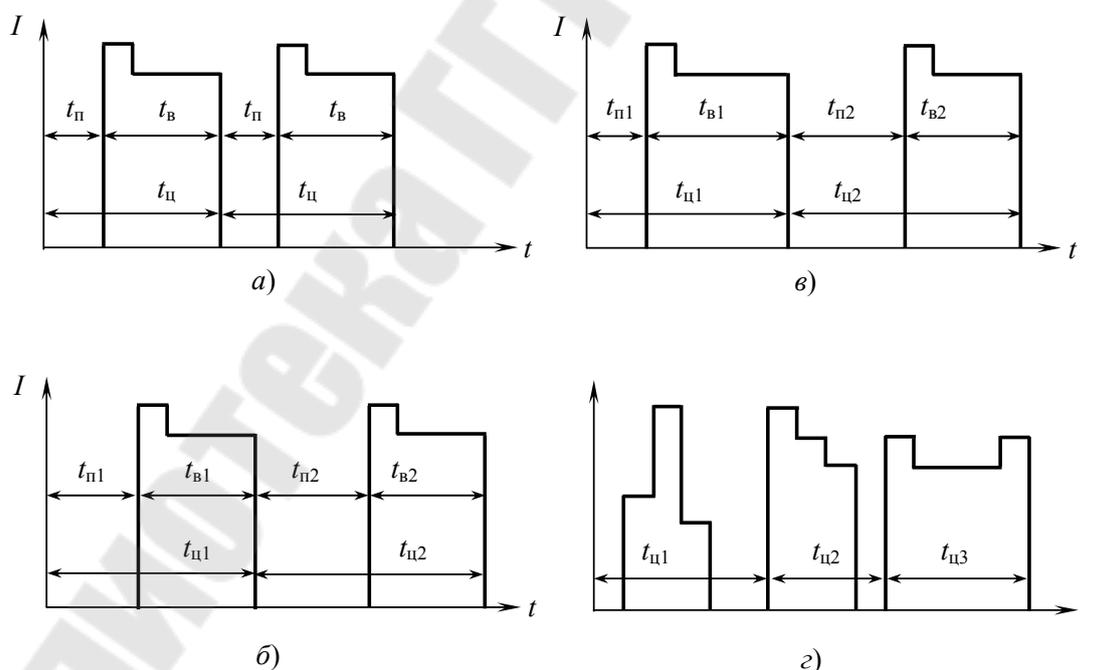


Рис. 1.2- Индивидуальные графики различных типов

Групповые графики нагрузки состоят из множества индивидуальных

$$P(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t), \quad (1.3)$$

где $p_i(t)$ – график нагрузки i -го приемника, кВт.

Групповые графики нагрузки весьма разнообразны. Степень регулярности групповых графиков зависит от типа индивидуальных графиков нагрузки, входящих в данную группу электроприемников, и взаимосвязи режимов работы этих электроприемников.

При поточном производстве графики нагрузок отдельных электроприемников оказываются настолько жестко связанными между собой, что групповые графики нагрузки подобных приемников практически являются детерминированными. Из-за постоянного повторения технологического процесса они одновременно являются также и периодическими, так что $P(t + t_u) = P(t)$, причем обычно период (цикл) t_u для группового графика не превышает длительности одной смены.

При непоточном производстве, а также при поточном производстве с наличием ручных операций (установка, подгонка, снятие деталей и т. д.), групповой график не периодичен, т. е. значение $P(t_0)$ группового графика в заданный момент времени t_0 является случайным. Однако график нагрузки любой группы промышленных электроприемников, обслуживающих определенную часть ритмичного комплексного технологического процесса, обладает свойством обобщенной периодичности, означающим стабильность расхода электрической энергии за смену:

$$W = \int_{t_0}^{t_0+m \cdot t_u} P(t) dt = const = m \cdot \Pi \cdot w_{y\partial}, \quad (1.4)$$

где m – число циклов работы данной группы электроприемников за смену;

Π – выпуск продукции за время t_u ;

$w_{y\partial}$ – удельный расход электрической энергии на выпуск единицы продукции.

Групповые графики, удовлетворяющие условию (1.4), называют почти периодическими. Для этих графиков момент времени t_0 не является произвольным, а должен отвечать началу одного из циклов t_u (смены).

Групповые графики, для которых условие (1.4) не выполняется, называются нерегулярными (случайными).

Основные физические величины электрических нагрузок

Физические величины, характеризующие графики электрических нагрузок, следующие:

1. P_c – средняя нагрузка (Q_c, S_c, I_c);
2. $P_{c\hat{e}}$ – среднеквадратичная (эффективная) нагрузка ($Q_{c\hat{e}}, S_{c\hat{e}}, I_{c\hat{e}}$);
3. P_i – максимальная нагрузка (Q_i, S_i, I_i):
 - а) P_p – расчётная (максимальная длительная) нагрузка;
 - б) $P_{i\hat{e}}$ – пиковая (максимальная кратковременная) нагрузка

Номинальная (установленная) мощность электроприемников.

Эта величина, как правило, заранее известна и служит исходной базой для расчетов электрических нагрузок. Номинальная мощность электроприемников всегда относится к длительному режиму их работы. Для электроприемников с двигателями асинхронными и постоянного тока номинальные мощности – это мощности на валу $P_{ном}$, кВт. Однако в связи с тем, что КПД двигателей обычно при расчетах не известен, его принимают равным единице. Для синхронных электродвигателей за номинальную мощность принимают полную мощность $S_{ном}$, кВА. Номинальной (установленной) мощностью плавильных электропечей, выпрямителей, преобразователей и сварочных машин является мощность питающих их трансформаторов $S_{ном}$, кВА. Установленной мощностью для печей сопротивления и осветительных электроприемников является мощность, потребляемая этими установками из сети, кВт.

Для электроприемников, работающих в режиме ПКР, номинальные мощности и токи определяют по выражениям:

$$\begin{aligned} P_n &= P_{наcn} \cdot \sqrt{ПВ_{наcn}}; & S_n &= S_{наcn} \cdot \sqrt{ПВ_{наcn}}; \\ q_n &= S_{наcn} \cdot \sqrt{ПВ_{наcn}} \cdot \sin \varphi_n; & i_n &= S_n / \sqrt{3} \cdot U_n. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Для группы электроприемников:

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_{ni}. \quad (1.6)$$

Для группы электроприемников также определяют групповые коэффициент мощности $\cos \varphi$, коэффициент полезного действия η и

$PВ$ как средневзвешенные значения по номинальной мощности отдельных электроприемников:

$$\cos \varphi = \frac{\sum_1^n P_{ni} \cdot \cos \varphi_{ni}}{\sum_1^n P_{ni}}; \quad \eta = \frac{\sum_1^n P_{ni} \cdot \eta_i}{\sum_1^n h_{ni}}; \quad PВ = \frac{\sum_1^n P_{ni} \cdot PВ_i}{\sum_1^n h_{ni}}. \quad (1.7)$$

Средняя нагрузка – постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени.

На практике средняя нагрузка определяется по показателям электрических счётчиков, либо других приборов, с помощью формул:

$$P_c = \frac{W}{T}; \quad Q_c = \frac{V}{T}; \quad P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}; \quad (1.8)$$

Среднеквадратичная нагрузка – такая неизменная в течение промежутка времени T нагрузка, которая вызывает потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителей такие же, как реальная изменяющаяся за это же время (T) нагрузка:

$$P_{\text{нê}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T P^2(t) dt}; \quad I_{\text{нê}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T I^2(t) dt}; \quad P_{\text{нê}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}. \quad (1.9)$$

Среднеквадратичная нагрузка используется для определения потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

Максимальная нагрузка – это наибольшая из средних нагрузок за рассматриваемый промежуток времени. При этом различают максимальную длительную и кратковременную нагрузки.

Максимальная длительная нагрузка характеризуется периодом усреднения от нескольких минут до нескольких часов. Она используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка характеризуется периодом усреднения от доли до нескольких секунд. Её называют пиковой нагрузкой:

$$I_{\text{иêê}} > I_i \geq I_{\text{нê}} \geq I_{\text{н}}. \quad (1.10)$$

Пиковая нагрузка используется для расчётов релейной защиты и автоматики, выбора предохранителей и автоматических выключателей.

Безразмерные показатели графиков нагрузки

Наряду с физическими величинами графики нагрузки описываются безразмерными коэффициентами. Эти коэффициенты устанавливают связь между основными физическими величинами, характеризуют неравномерность графиков нагрузки, а также использование электроприёмников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Рассмотрим коэффициенты, характеризующие связь между основными физическими величинами графиков нагрузки:

1. Коэффициент максимума графика:

$$k_{i.\bar{a}.} = \frac{D_1}{D_n}. \quad (1.11)$$

В практике электроснабжения при определении расчетных нагрузок методом упорядоченных диаграмм, вместо коэффициента максимума используют коэффициент расчётной нагрузки:

$$k_p = \frac{D_p}{k_e D_{\text{он}0}}, \quad (1.12)$$

где P_p – расчетная нагрузка, представляет собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

2. Коэффициент заполнения графика:

$$k_{\zeta.\bar{a}.} = \frac{D_n}{D_1} = \frac{1}{k_i}. \quad (1.13)$$

Данный коэффициент определяется, как для группового, так и для индивидуального графика нагрузки.

3. Коэффициент формы графика:

$$k_{\delta.\bar{a}.} = \frac{D_{\text{н}e}}{D_n}, \quad k_{\delta.\bar{a}.} \geq 1, \quad (1.14)$$

где $k_{\delta.\bar{a}.} = 1-1,2$ – для групповых графиков;

$k_{\delta.\bar{a}.} = 1-3$ – для индивидуальных графиков.

Коэффициент формы характеризует степень неравномерности графика нагрузки, прямо пропорционален величине потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителя.

Определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии численно равен площади фигуры ограниченной графиком электрической нагрузки:

$$W = \sum P_i \cdot \Delta t_i . \quad (1.15)$$

Метод является точным, однако на практике часто отсутствуют графики электрической нагрузки, поэтому используются укрупнённые методы определения расхода электроэнергии.

Годовой расход электроэнергии определяется по выражению:

$$W_{\bar{a}} = P_i \cdot T_i , \quad (1.16)$$

где P_i – максимальная нагрузка потребителя;

T_i – время использования максимума нагрузки, т.е. время, в течение которого потребитель израсходует столько же электроэнергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько и при работе по реальной нагрузке за годовой фонд рабочего времени (рис. 1.3):

$$W_{\Gamma} = P_c \cdot T , \quad W_{\Gamma} = P_M \cdot K_{зг} \cdot T . \quad (1.17)$$

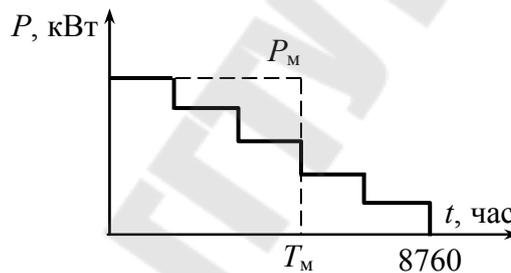


Рис. 1.3 - Определение расхода электроэнергии через максимальную нагрузку

ЗАДАНИЕ 1:

Для варианта заданы суточный характерный график нагрузки (таблица 1.1) и установленная мощность электроприемников потребителя (таблица 1.2). Определить:

- физические величины и безразмерные коэффициенты ГЭН;
- время использования максимума нагрузки и время максимальных потерь за сутки и за год;
- годовой расход электроэнергии

Вариант 2. Деревообрабатывающая промышленность

Таблица 1.1

Данные типовых графиков нагрузки, по вариантам

t, ч	Потребляемая мощность в часы смены, %														
	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0-1	60	36	36	88	70	70	60	34	45	85	76	80	90	95	80
1-2	45	34	36	94	70	65	60	34	45	98	78	80	90	95	80
2-3	40	30	34	90	70	68	60	34	45	90	85	80	95	95	80
3-4	42	40	52	95	90	80	86	80	82	90	90	82	97	95	100
4-5	80	60	88	98	90	90	90	100	90	60	80	82	100	100	100
5-6	77	90	95	90	90	88	80	75	88	60	78	82	100	100	95
6-7	96	65	95	92	90	90	100	80	72	90	86	82	93	95	95
7-8	82	88	88	96	100	85	100	90	72	100	93	100	93	95	95

Таблица 1.2

Данные по установленной мощности предприятий

Значени я	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{уст}$, МВт	30	40	25	100	25	12	24	8	17	40	40	80	150	200	30

Пример заполнения расчета приведен в таблице 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3

Ход и результаты расчетов

Величина	Расчет	Значение	
		о.е.	именов.
Уст. мощность, $P_{\text{он}0}$	Согласно варианту задания	-	
Коэффициент спроса, K_c	Определяются по справочным данным		
$\cos\varphi$			
Средняя нагрузка, $P_{\bar{n}}$	$P_{\bar{n}} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}$		
Среднеквадратическая нагрузка, $P_{\bar{n}\bar{e}}$	$P_{\bar{n}\bar{e}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$		
Максимальная нагрузка, P_i	$P_i = P_{\text{он}0} \cdot K_c$		
Коэффициент максимума графика, $K_{i.\bar{a}}$	$K_{i.\bar{a}} = \frac{P_i}{P_c}$		
Коэффициент заполнения графика, $K_{\bar{c}.\bar{a}}$	$K_{\bar{c}.\bar{a}} = \frac{P_{\bar{n}}}{P_i}$		
Коэффициент формы графика, $K_{\bar{o}.\bar{a}}$	$K_{\bar{o}.\bar{a}} = \frac{P_{\bar{n}\bar{e}}}{P_c}$		
Коэффициент использования, $K_{\bar{e}}$	$K_{\bar{e}} = \frac{P_{\bar{n}}}{P_{\text{он}0}}$		
Коэффициент спроса, K_c	$K_{\bar{n}} = \frac{P_i}{P_{\text{он}0}}$		
Время использования максимума нагрузки, T_i	$T_i = K_{\bar{c}\bar{a}} \cdot T$		
Время максимальных потерь, τ	$\tau_{\text{н}00} = (K_{\bar{o}.\bar{a}} \cdot K_{\bar{c}.\bar{a}})^2 \cdot T_{\text{он}0};$ $\tau = (0,124 + T_{i.\bar{a}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot T_{\bar{a}}$		
Годовой расход электроэнергии, $W_{\bar{a}}$	$W_{\bar{a}} = \alpha \cdot P_{\bar{n}} \cdot T_{\bar{o}} = \alpha \cdot P_{\text{он}0} \cdot K_{\bar{e}} \cdot T_p$		
	$W_{\bar{a}} = \alpha \cdot P_i \cdot T_i = \alpha \cdot P_i \cdot \frac{T_{\bar{a}}}{K_{i.\bar{a}}}$		

Таблица 1.4

Исходные данные						
Н-р ЭП	2	4	10	12	22	По группе
$P_{\text{пасп}}$, кВт	30	4	45			
$S_{\text{н}}$, кВА				16	122	
$\cos\varphi$	0,87	0,84	0,89	0,5	0,4	0,71
η , %	92	85	93	95	96	0,93
$I_{\text{н}}/I_{\text{н}}$	7,5	6,5	7,5	3	2	
$ПВ$, %	100	50	100	60	60	84

Окончание табл. 1.4

Время	График за смену					
0-1	10	1	20	1	10	42
1-2	15	4	30	4	36	89
2-3	8	2	40	2	15	67
3-4	25	3	15	3,5	33	79,5
4-5	14	1,5	10	1,45	8	34,95
5-6	5	3,5	0	0	0	8,5
6-7	28	4	15	3	38	88
7-8	18	0,5	10	4	5	37,5
Физические величины графиков нагрузки						
$P_{\text{н}}$, кВт	30	2,83	45	6,20	37,80	121,8
$P_{\text{с}}$, кВт	15	2	18	2	18	55,8
$P_{\text{эф}}$, кВт	17	3	21	3	23	62,2
$P_{\text{р}}$, кВт	28	4	40	4	38	89,0
$I_{\text{н}}$, А	57	6	83	20	149	277,5
$I_{\text{п}}$, А	428	39	624	60	299	871,32
$I_{\text{р}}$, А	49	7	68	12	144	189,4
Безразмерные показатели графиков нагрузки						
$K_{\text{н}}$	0,47	0,73	0,36	0,36	0,46	0,43
$K_{\text{з}}$	0,47	1,47	0,36	0,61	0,77	0,51
$K_{\text{м}}$						1,59
$K_{\text{с}}$						0,73
$K_{\text{р,м}}$						0,78
$K_{\text{зап}}$						0,63
$K_{\text{ф}}$						1,11

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. График нагрузки
3. Расчет показателей графика нагрузки.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. . Перечислите безразмерные показатели (коэффициенты), характеризующие графики нагрузок.
2. Приведите аналитические выражения и объясните способы определения безразмерных показателей, характеризующих графики нагрузок.
3. Как связаны между собой безразмерные показатели графиков нагрузок.
4. Что характеризуют коэффициент использования, коэффициент формы, коэффициент разновременности максимумов графиков нагрузки?
5. Что показывает коэффициент максимума нагрузки и коэффициент спроса?
6. В чем заключается физический смысл величин, характеризующих графики нагрузки?

Список литературы

1. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. Мн.: "Пион", 2002. – 457 с.
2. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения. – Мн.: НПО «Пион», 2001. – 292 с.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В двух томах. Под общей ред. Федорова А.А. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1971.
5. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
6. Колесник Ю.Н., Смягликов Д.С. Способ учета постоянной времени нагрева при выборе проводников и их согласовании с защитным аппаратом. Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, № 3, 2004 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Определение параметров схемы замещения трехобмоточного трансформатора

Цель работы:

1. Изучение схемы замещения трехобмоточного трансформатора и методы определения его параметров.

Теоретическая часть

При расчете электрических сетей с трансформаторами, последние представляются в виде схем замещения.

Трехобмоточные трансформаторы в расчетах представляют схемой замещения в виде эквивалентной трехлучевой звезды (рис. 2.1). Проводимость трехобмоточного трансформатора включают со стороны луча обмотки трансформатора, подключенной к источнику питания.

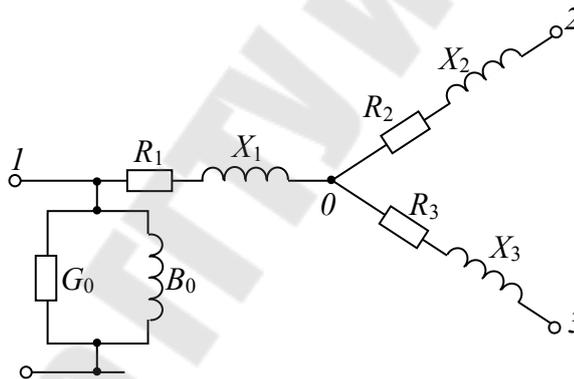


Рис. 2.1- Схема замещения трехобмоточного трансформатора

Опытное определение параметров схемы замещения трансформатора

Опыт холостого хода. Опытное определение параметров схемы замещения трансформатора производится по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

Схемы опытов холостого хода однофазного ($m = 1$) и трехфазного ($m = 3$) двухобмоточных трансформаторов приведены на рис. 2.2. Первичная обмотка трансформатора подключается на синусоидальное напряжение, а вторичная обмотка разомкнута. Измеряются первичные напряжения $U_1 = U_0$, ток $I_1 = I_0$ и мощность $P_1 = P_0$, а также вторичное напряжение U_2 . Из данных опыта для

однофазного трансформатора определяются полное, активное и индуктивное сопротивления холостого хода:

$$\begin{aligned} z_0 &= U_0 / I_0; \\ r_0 &= P_0 / I_0^2; \quad ; \\ x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

а так же коэффициент трансформации:

$$k = w_1 / w_2 \approx U_1 / U_2. \quad (2.2)$$

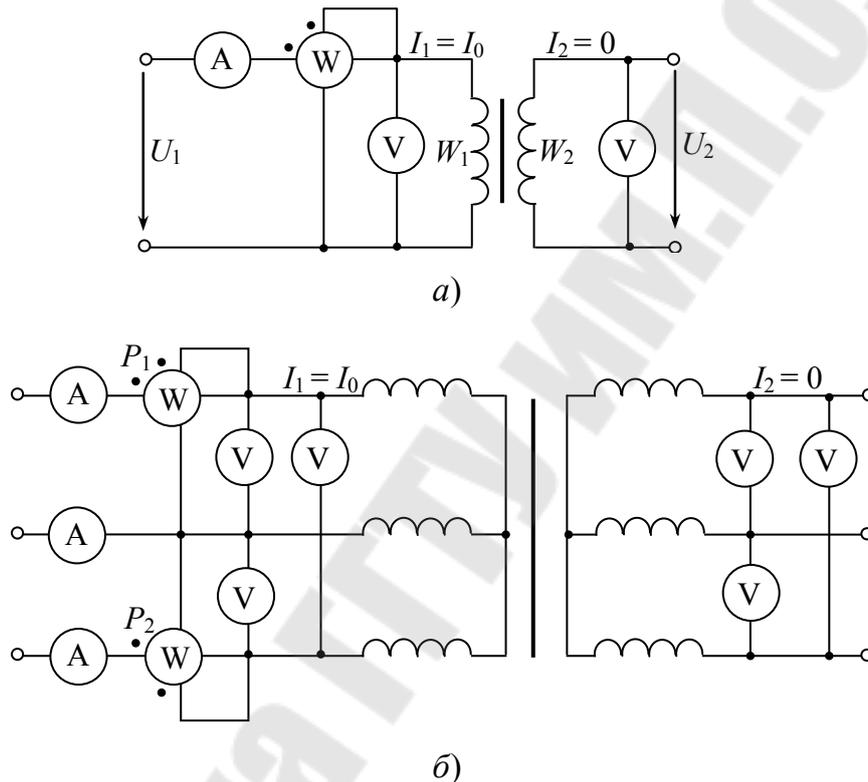


Рис. 2.2 - Схемы опытов холостого хода однофазного (а) и трехфазного (б) двухобмоточных трансформаторов.

Для трехфазного трансформатора по показаниям трех амперметров и вольтметров определяются средние значения линейного тока I_0 и линейного напряжения U_0 , а по показаниям ваттметров – мощность холостого хода трех фаз $P_0 = P_1 + P_2$. Физический смысл имеют только значения сопротивлений, рассчитанные для фазы обмотки. Поэтому необходимо принять во внимание схему соединения обмотки. В случае соединения первичной обмотки в звезду

$$\begin{aligned}
 z_0 &= \frac{U_0}{\sqrt{3}I_0}; \\
 r_0 &= \frac{P_0}{3I_0^2}; \\
 x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2},
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

а при соединении ее в треугольник

$$\begin{aligned}
 z_0 &= \frac{\sqrt{3}U_0}{I_0}; \\
 r_0 &= \frac{P_0}{I_0^2}; \\
 x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2}.
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Опыт холостого хода для трехобмоточных трансформаторов проводится аналогично опыту холостого хода для двухобмоточных трансформаторов. Напряжение холостого хода подается на обмотку высокого напряжения, а обмотки среднего и низкого напряжения размыкаются.

Опыт короткого замыкания производится по схемам рис. 2.3. Вторичные обмотки замыкаются накоротко, а к первичным обмоткам во избежание перегрева и повреждения трансформатора подводится пониженное напряжение с таким расчетом, чтобы ток находился в пределах номинального.

Полное $z_{\hat{e}}$, активное $r_{\hat{e}}$ и реактивное $x_{\hat{e}}$ сопротивления короткого замыкания рассчитываются по формулам, аналогичным для случая холостого хода.

Для однофазного трансформатора

$$\begin{aligned}
 z_{\hat{e}} &= \frac{U_{\hat{e}}}{I_{\hat{e}}}; \\
 r_{\hat{e}} &= \frac{P_{\hat{e}}}{I_{\hat{e}}^2}; \\
 x_{\hat{e}} &= \sqrt{z_{\hat{e}}^2 - r_{\hat{e}}^2}.
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

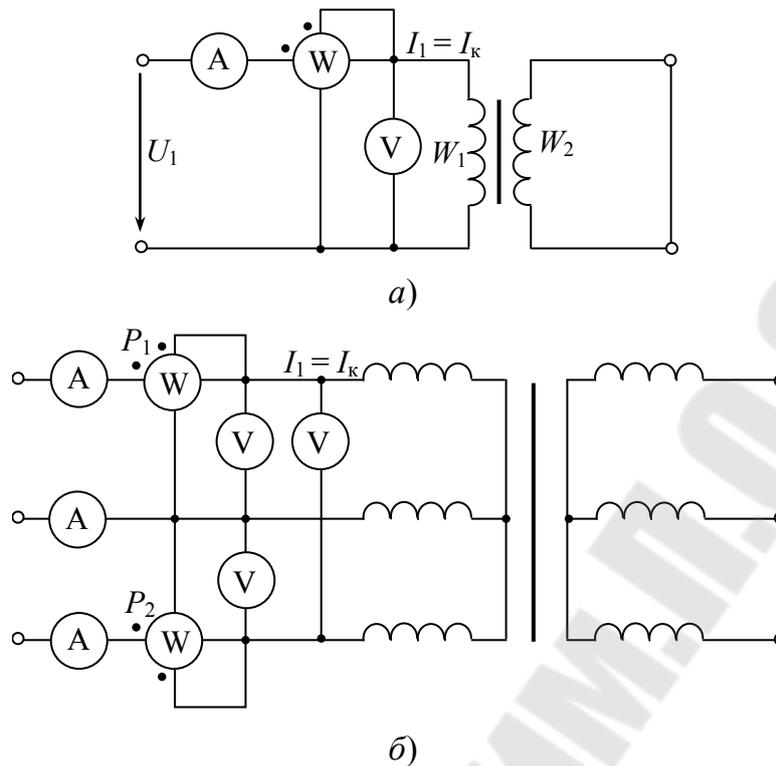


Рис. 2.3 - Схемы опытов короткого замыкания однофазного (а) и трехфазного (б) двухобмоточных трансформаторов

Для трехфазного трансформатора по показаниям приборов определяются средние значения линейного напряжения $U_{\hat{e}}$, линейного тока $I_{\hat{e}}$ и мощности короткого замыкания трех фаз $P_{\hat{e}}$. При соединении первичной обмотки в звезду параметры короткого замыкания на фазу будут следующие:

$$z_{\hat{e}} = \frac{U_{\hat{e}}}{\sqrt{3}I_{\hat{e}}};$$

$$r_{\hat{e}} = \frac{P_{\hat{e}}}{3I_{\hat{e}}^2};$$

$$x_{\hat{e}} = \sqrt{z_{\hat{e}}^2 - r_{\hat{e}}^2},$$

а при соединении первичной обмотки треугольником

$$z_{\hat{e}} = \frac{\sqrt{3}U_{\hat{e}}}{I_{\hat{e}}};$$

$$r_{\hat{e}} = \frac{P_{\hat{e}}}{I_{\hat{e}}^2};$$

$$x_{\hat{e}} = \sqrt{z_{\hat{e}}^2 - r_{\hat{e}}^2}.$$

Параметры схемы замещения трехобмоточного трансформатора $R_1, R_2, R_3, X_1, X_2, X_3$ (рис. 2.1) определяются из данных трех опытов короткого замыкания (рис. 2.4).

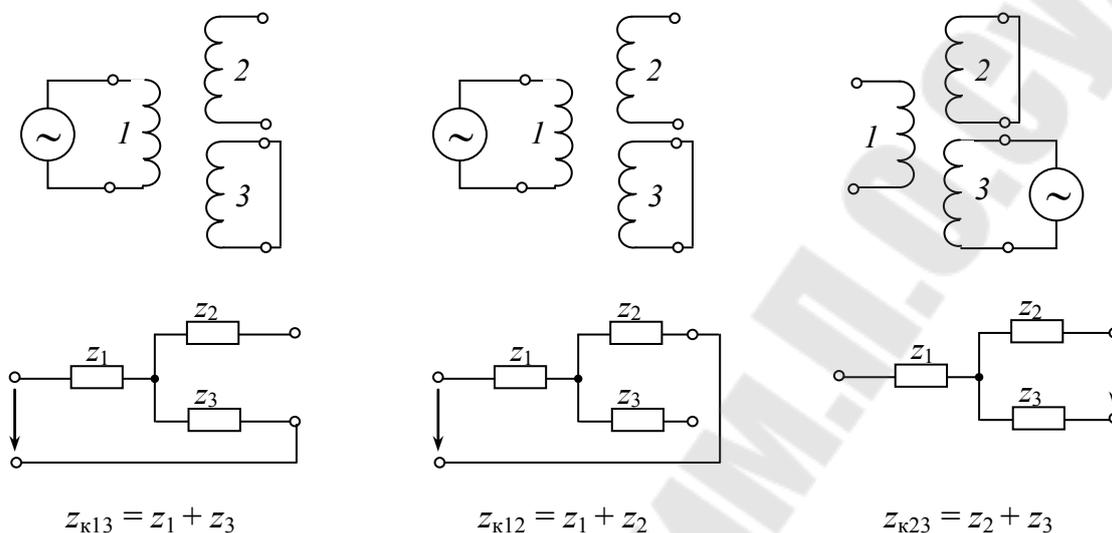


Рис. 2.4 - Схемы опытов короткого замыкания трехобмоточного трансформатора

По выражению (2.6), (2.7) рассчитываются сопротивления короткого замыкания каждой пары обмоток.

$$\begin{aligned} z_{\hat{e}12} &= z_1 + z_2 = r_{\hat{e}12} + jx_{\hat{e}12} = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2); \\ z_{\hat{e}13} &= z_1 + z_3 = r_{\hat{e}13} + jx_{\hat{e}13} = (r_1 + r_3) + j(x_1 + x_3); \\ z_{\hat{e}23} &= z_2 + z_3 = r_{\hat{e}23} + jx_{\hat{e}23} = (r_2 + r_3) + j(x_2 + x_3). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Из выражения (2.8) можно найти

$$\begin{aligned} z_1 &= \frac{z_{\hat{e}12} + z_{\hat{e}13} - z_{\hat{e}23}}{2}; \\ z_2 &= \frac{z_{\hat{e}12} + z_{\hat{e}23} - z_{\hat{e}13}}{2}; \\ z_3 &= \frac{z_{\hat{e}13} + z_{\hat{e}23} - z_{\hat{e}12}}{2}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

По аналогичным формулам через активные и индуктивные составляющие $z_{\hat{e}12}, z_{\hat{e}13}, z_{\hat{e}23}$ выражаются также r_1, r_2, r_3 и x_1, x_2, x_3 .

Приборы и оборудование

На лабораторном стенде (рис. 2.5) представлена модель трехфазного трехобмоточного трансформатора в виде схемы

замещения, сопротивления которой выполнены в соответствующем масштабе.

На панель стенда вынесены выводы сопротивлений модели и источника питания (ИП). Регулятор напряжения ИП находится в правом нижнем углу панели.

Порядок выполнения работы

1. Опыт короткого замыкания (КЗ)

Для трехобмоточного трансформатора опыт короткого замыкания проводится с каждой парой обмоток, при разомкнутой третьей обмотке (В – высокого, С – среднего или Н – низкого напряжения).

Для определения напряжения и потерь короткого замыкания для обмоток высокого и среднего напряжения ($U_{\text{éâñ}}$ и $P_{\text{éâñ}}$) собирается схема, согласно рис. 2.6.

Вращая по часовой стрелке ручку регулятора напряжения ИП, повышают напряжение, подаваемое на вход модели до величины, при которой в схеме будет протекать ток, равный номинальному (задается преподавателем).

Схема для проведения опытов по определению $U_{\text{éâí}}$, $P_{\text{éâí}}$ и $U_{\text{éсí}}$, $P_{\text{éсí}}$ составляются студентами самостоятельно и проверяется преподавателем. Измерения аналогичны первому опыту. Данные измерений заносятся в таблицу.

По результатам опыта КЗ рассчитываются параметры схемы замещения $R_{\text{â}}$, $R_{\text{ñ}}$, $R_{\text{í}}$, $X_{\text{â}}$, $X_{\text{ñ}}$, $X_{\text{í}}$ (рис. 2.3).

2. Опыт холостого хода (ХХ)

Для измерения тока и потерь мощности холостого хода студентами самостоятельно собирается схема и проверяется преподавателем. Вращая по часовой стрелке ручку регулятора напряжения ИП, повышают напряжение до номинального значения (задается преподавателем) и замеряют ток и мощность холостого хода. Данные измерений заносят в таблицу.

По результатам опыта ХХ рассчитываются параметры цепи намагничивания R_0 , X_0 или G_0 , B_0 .

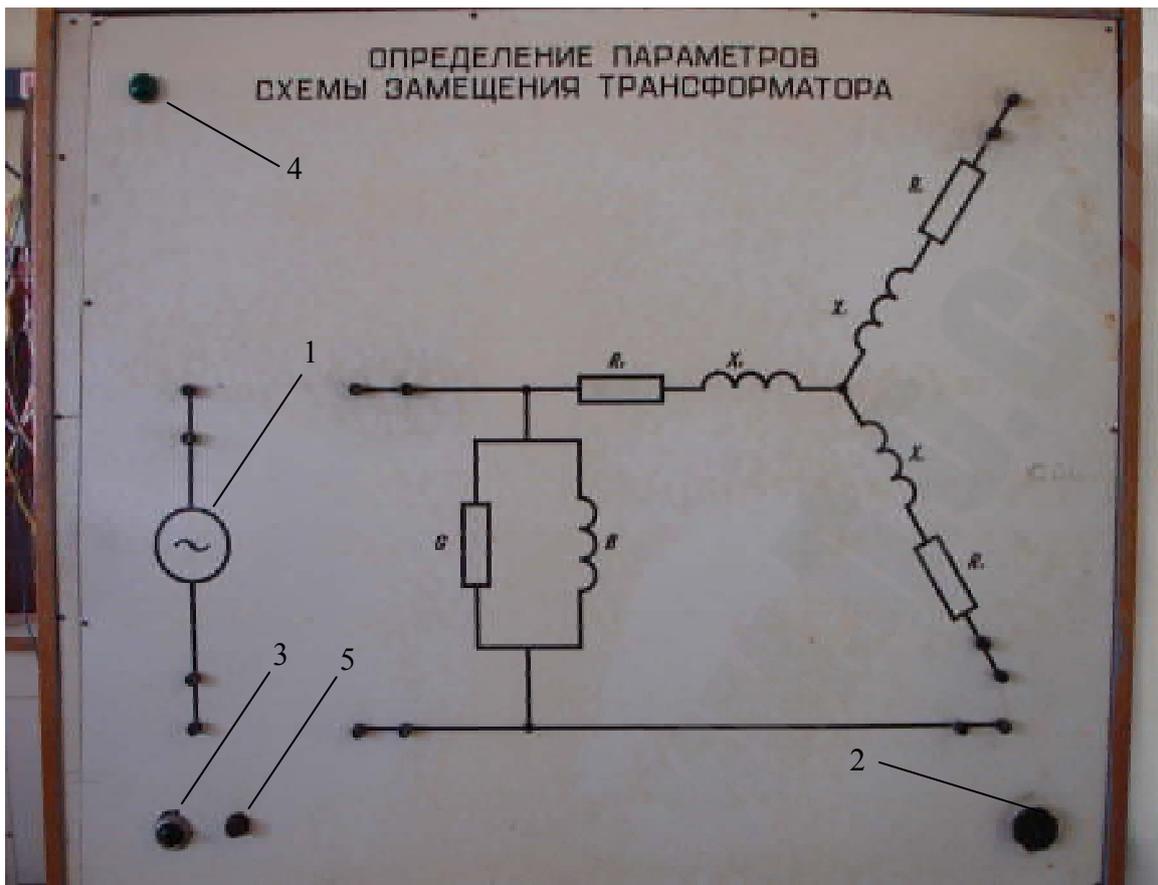


Рис. 2.5 - Лицевая панель лабораторного стенда: 1 – источник питания; 2 – ручка ЛАТРА; 3 – тумблер включения/выключения питания; 4 – сигнальная лампа; 5 – гнездо для предохранителя

Меры безопасности

1. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Не касаться токоведущих частей стенда при включенном питании.
3. Не включать токовые цепи приборов параллельно источнику питания.
4. Ток модели не должен превышать 2 А.

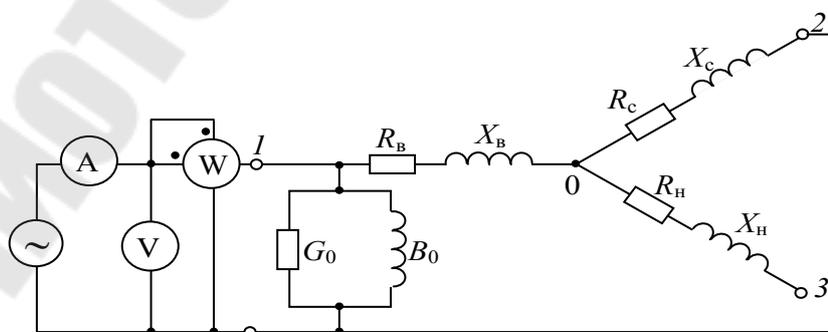


Рис. 2.6 - Схема проведения опыта К3

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схемы проведения опытов.
3. Таблица с экспериментальными данными.
4. Расчет параметров схемы замещения.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры схемы замещения определяют по результатам опыта КЗ?
2. Какие параметры схемы замещения определяют по результатам опыта ХХ?
3. Какие физические явления, происходящие в трансформаторе при его работе, характеризуют параметры схемы замещения?
4. Условия параллельной работы трансформаторов

Список литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 892 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Режимы работы нейтрали в электрических сетях

Цель работы:

1. Изучить режимы работы нейтрали в электрических сетях.
2. Выяснить особенности схем с различными видами нейтрали.

Теоретическая часть

Выбор способа заземления нейтрали связан, главным образом, с поведением системы при замыканиях на землю и, в первую очередь, с возникающими при этом перенапряжениями.

Кроме того, при выборе способа заземления нейтрали затрагиваются следующие вопросы:

1. Надежность работы сети.
2. Бесперебойное снабжение электрической энергией потребителей.
3. Экономичность системы.
4. Ограничение электромагнитного влияния на линии связи.
5. Безопасность системы.
6. Возможность перспективного развития системы.

Как известно, подавляющее большинство замыканий на земле, возникает в электрических сетях в результате импульсного перекрытия изоляции при разрядах с последующим переходом импульсного перекрытия в дуговой разряд. Поэтому принятый способ заземления нейтрали должен в первую очередь обеспечить наиболее быструю ликвидацию дуги замыкания на землю по возможности без нарушения электроснабжения потребителей.

Вопрос о режимах работы нейтрали в электрических сетях в настоящее время решается следующим образом:

В системах электроснабжения напряжением 6, 10, 20 и 35 кВ применяется изолированная нейтраль, если величина емкостных токов на землю не превосходят 10 А при напряжении сетей 35 кВ, 15 А – 15-20 кВ, 20 А – 10 кВ, 30 А – 6 кВ, 5 А – в схемах блоков генератор-трансформатор (на генераторном напряжении 6-20 кВ).

Если токи однофазного замыкания на землю превышают указанные выше допустимые значения, то применяют либо компенсацию емкостных токов путем введения в нейтраль дугогасящей катушки, либо заземление нейтрали.

Применение дугогасящих катушек с автоматической настройкой способствует более широкому распространению систем с

компенсацией емкостных токов технически более совершенных, чем система с изолированной нейтралью. При напряжениях 6 и 10 кВ нейтраль генераторов обычно заземляется через активное сопротивление. В системах напряжением 110, 220 кВ и выше применяется глухое заземление нейтрали с разземлением нейтрали части трансформаторов при необходимости ограничения тока однофазного КЗ.

В электроустановках напряжением до 1000 В применяются следующие режимы нейтрали:

1. Глухое заземление нейтрали трансформаторов и генераторов.
2. Полностью изолированная нейтраль (только у генераторов).
3. Нормально изолированная нейтраль трансформатора с включенным в нейтраль или фазу заземленным пробивным предохранителем.

В четырехпроводных сетях переменного тока (220/127 и 380/220 В) или трехпроводных сетях постоянного тока, глухое заземление обязательно; при номинальном напряжении 500 и 600 В электроустановок трехфазного тока нейтраль должна быть изолирована.

В трехфазных трехпроводных сетях напряжением 380 и 220 В применяется и изолированная, и глухозаземленная нейтраль (ПУЭ не регламентирует запрещение того или иного режима нейтрали). Однако выбор того или иного режима нейтрали должен проводиться с учетом всех местных условий с целью обеспечения наилучших условий безопасности.

Рассмотрим более подробно работу систем с различными режимами нейтрали.

В трехфазной системе каждая единица длины сети обладает емкостью и сопротивлением изоляции по отношению к земле. В сетях напряжением выше 1000 В преобладает емкостная связь (емкостные сопротивления значительно превышают активные и индуктивные сопротивления). Распределенные, вдоль линии емкости и сопротивления изоляции каждого провода относительно земли условно могут быть представлены в виде сосредоточенных эквивалентных емкостей C_A , C_B , C_C , C_N и r_A , r_B , r_C , r_N . Полные проводимости проводов трехфазной четырехпроводной системы относительно земли в комплексной могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned}
 y_A &= g_A + j\omega \cdot C_A; \\
 y_B &= g_B + j\omega \cdot C_B; \\
 y_C &= g_C + j\omega \cdot C_C; \\
 y_N &= g_N + j\omega \cdot C_N,
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

где g_A, g_B, g_C, g_0 – активные проводимости изоляции между фазными проводами (А, В, С), нулевым проводом (N) и землей, равные соответственно:

$$g_A = \frac{1}{r_A}, \quad g_B = \frac{1}{r_B}, \quad g_C = \frac{1}{r_C}, \quad g_N = \frac{1}{r_N}.$$

Комплексная проводимость нулевой точки (0) трансформатора, генератора и т.п. относительно земли в зависимости от способа заземления нейтрали может учитываться:

а) сопротивление заземляющего устройства:

$$r_0 = r_\zeta \quad \text{или} \quad y_0 = g_0 = \frac{1}{r_\zeta};$$

б) сопротивление дугогасящей катушки:

$$r_0 = Z_{\hat{e}} = r_{\hat{e}} + j\omega L_{\hat{e}} \quad \text{или} \quad y_0 = \frac{1}{Z_{\hat{e}}} = \frac{1}{r_{\hat{e}} + j\omega L_{\hat{e}}},$$

где $r_{\hat{e}}$ и $L_{\hat{e}}$ – соответственно, активное сопротивление и индуктивность катушки;

в) активное сопротивление в цепи нейтрали:

$$r_0 = R \quad \text{или} \quad y_0 = g_0 = \frac{1}{R};$$

г) реактивное индуктивное сопротивление:

$$y_0 = \frac{1}{j\omega L} \quad \text{и т. д.}$$

В трехфазной системе с изолированной нейтралью $y_0 = 0$.

В симметричной трехфазной системе (нагрузка симметрична и $g_A = g_B = g_C, C_A = C_B = C_C$) в нормальном режиме напряжения фаз относительно земли U_A, U_B и U_C симметричны, равны по модулю и равны фазному напряжению $U_{\hat{0}}$. Геометрические суммы активных токов утечки I_{gA}, I_{gB}, I_{gC} и емкостных токов I_{CA}, I_{CB}, I_{CC} соответственно образуют токи I_A, I_B, I_C в фазах, которые равны по модулю, т.е. $I_A = I_B = I_C$ и геометрическая сумма их равна нулю, т.е. $\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$, а напряжение смещения нейтрали U_0 равно нулю.

В случаях, если $g_A \neq g_B \neq g_C$, или $C_A \neq C_B \neq C_C$ симметрия системы нарушается, даже при симметричной нагрузке. Напряжение смещения нейтрали U_0 в соответствии с теорией несимметричных режимов трехфазных цепей определяется по формуле:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A \dot{y}_A + \dot{U}_B \dot{y}_B + \dot{U}_C \dot{y}_C}{\dot{y}_C + \dot{y}_C + \dot{y}_C + \dot{y}_0}. \quad (3.2)$$

Примем, что $U_A = U_0$, тогда $U_B = a^2 \cdot U_0$, $U_C = a \cdot U_0$, где a – фазовый множитель, учитывающий сдвиг фаз.

Выражение (3.2) может быть записано в виде:

$$\dot{U}_0 = U_0 \frac{\dot{y}_{\hat{A}} + a^2 \cdot \dot{y}_{\hat{A}} + a \cdot \dot{y}_{\hat{N}}}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}.$$

Напряжения фаз относительно земли при несимметрии систем определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = U_0 \frac{(1-a^2)\dot{y}_{\hat{A}} + (1-a)\dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}; \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = U_0 \frac{(a^2-1)\dot{y}_{\hat{A}} + (a^2-a)\dot{y}_{\hat{N}} + a^2 \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}; \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = U_0 \frac{(a-1)\dot{y}_{\hat{A}} + (a-a^2)\dot{y}_{\hat{N}} + a \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Токи при несимметрии системы равны

$$\begin{aligned} \dot{I}'_A &= \dot{U}'_A \dot{y}_A = U_0 \dot{y}_A \frac{(1-a^2)\dot{y}_{\hat{A}} + (1-a)\dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}; \\ \dot{I}'_B &= \dot{U}'_B \dot{y}_{\hat{A}} = U_0 \dot{y}_{\hat{A}} \frac{(a^2-1)\dot{y}_{\hat{A}} + (a^2-a)\dot{y}_{\hat{N}} + a^2 \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}; \\ \dot{I}'_C &= \dot{U}'_C \dot{y}_{\hat{N}} = U_0 \dot{y}_{\hat{N}} \frac{(a-1)\dot{y}_{\hat{A}} + (a-a^2)\dot{y}_{\hat{N}} + a \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ток в нулевом проводе определяется как

$$\dot{I}_0 = \dot{I}'_A + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C = \dot{U}_0 \dot{y}_0 = U_0 \dot{y}_0 \frac{\dot{y}_{\hat{A}} + a^2 \dot{y}_{\hat{A}} + a \cdot \dot{y}_{\hat{N}}}{\dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{A}} + \dot{y}_{\hat{N}} + \dot{y}_0}. \quad (3.5)$$

Выражения (3.2-3.5) являются основными при анализе и расчетах трехфазных систем во всех возможных несимметричных

режимах.

Расчетные схемы замещения трехфазных систем с различными способами заземления нейтрали в нормальном режиме представлены на рис. 3.1, а; 3.2, а; 3.3, а; 3.4, а.

Системы с изолированной нейтралью

В большинстве случаев емкостные проводимости фаз относительно земли можно полагать равными, т. е.

$$y_A = y_B = y_C.$$

Расчетная схема замещения в нормальном режиме представлена на рис. 3.1, а. Фазные напряжения относительно земли U_A , U_B , U_C и емкостные токи утечки I_A , I_B , I_C в нормальном режиме равны между собой по модулю и представляют собой симметричную систему токов и напряжений (рис. 3.1, в). Напряжение смещения нейтрали в этом случае равно нулю $U_0 = 0$.

В случае повреждения изоляции и замыкания, например, фазы А на землю (рис. 3.1, б) через место аварии в землю протекает ток I_ζ равный

$$\dot{I}_\zeta = -(\dot{I}'_B + \dot{I}'_C), \quad (3.6)$$

где \dot{I}'_B , \dot{I}'_C – емкостные токи утечки здоровых фаз (В и С) в аварийном режиме.

Емкостная проводимость фазы А при этом шунтируется рассматриваемым замыканием и емкостной ток утечки фазы А в аварийном режиме равен нулю $\dot{I}'_A = 0$. Векторная диаграмма токов и напряжений системы с изолированной нейтралью представлена на рис. 3.1, г. Так как проводимости фаз относительно земли в аварийном режиме не равны (проводимость фазы А на много больше), то возникает несимметрия и как следствие напряжение смещения нейтрали (напряжение между точками О' и О) равно напряжению фазы А

$$\dot{U}_O = \dot{U}_A.$$

Фазные напряжения здоровых фаз в этом случае равны соответственно

$$\dot{U}'_B = -\dot{U}_{AB},$$

$$\dot{U}'_C = -\dot{U}_{CA},$$

где U_{AB} и U_{CA} – линейные напряжения между соответствующими фазами в нормальном режиме.

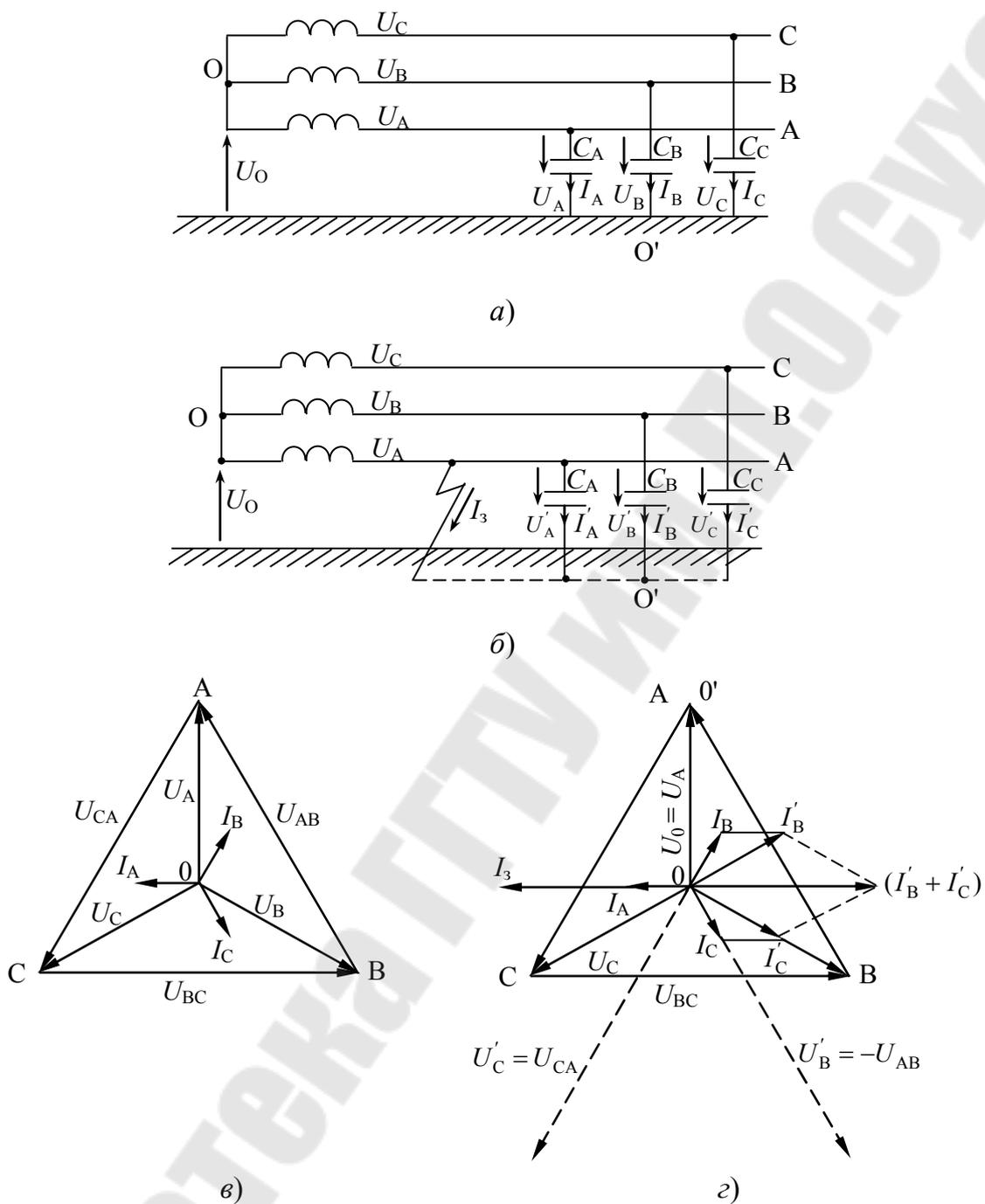


Рис. 3.1- Система с напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью:

- а) расчетная схема замещения в нормальном режиме;
- б) расчетная схема замещения в аварийном режиме работа;
- в) векторная диаграмма токов и напряжений в нормальном режиме;
- г) векторная диаграмма токов и напряжений в аварийном режиме

Следовательно, напряжения здоровых фаз относительно земли увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз, во столько же увеличатся емкостные токи

утечки I'_B и I'_C . Угол между напряжениями U'_B и U'_C , а также токами I'_B и I'_C будет равен 60° (рис. 3.1, з). Напряжение поврежденной фазы относительно земли будет равно нулю $U'_A = 0$.

Ток замыкания на землю I_ζ определяется выражением (3.6) и в 3 раза больше емкостного тока утечки фазы в землю при нормальном режиме работы системы

$$I_\zeta = -(I'_B + I'_C) = 3 \cdot I_A.$$

Системы с компенсацией емкостных токов замыкания на землю

Для уменьшения емкостных токов замыкания на землю между нейтралью источников электроэнергии и землей включаются компенсирующие устройства: заземляющие катушки с настроенной индуктивностью или заземляющие трансформаторы. Наибольшее распространение получили заземляющие катушки, которые состоят из сердечника и обмотки, помещенных в кожухе, заполненном трансформаторным маслом. Индуктивность катушки L_ϵ регулируется изменением числа витков или величины зазора сердечника. Активное сопротивление катушки R_ϵ мало по сравнению с индуктивным, поэтому при анализе процессов им можно пренебречь.

Принцип компенсации емкостных токов заземляющими катушкой и трансформаторами практически одинаков, поэтому рассмотрим аварийный режим в системе напряжением выше 1000 В с компенсацией емкостных токов однофазного замыкания на землю при помощи заземляющей катушки. Расчетные схемы замещения системы в нормальном и аварийном режимах представлены на рис. 3.2. Условия нормального режима аналогичны приведенным выше для изолированной нейтрали, ток в катушке равен нулю $I_\epsilon = 0$ (рис. 3.2, в). При замыкании фазы А на землю напряжения и емкостные токи утечки здоровых и поврежденной фазы изменяются также как и в системе с изолированной нейтралью (рис. 3.2, з), т.е.

$$U'_A = 0; \quad U'_B = U'_C = \sqrt{3} \cdot U_{\hat{0}};$$

$$I'_A = 0; \quad I'_B = I'_C = \sqrt{3} \cdot I_{\hat{0}};$$

$$I'_A = 0,$$

где $U_{\hat{0}}$, $I_{\hat{0}}$ – фазные напряжения и токи утечки в системе при

нормальной работе.

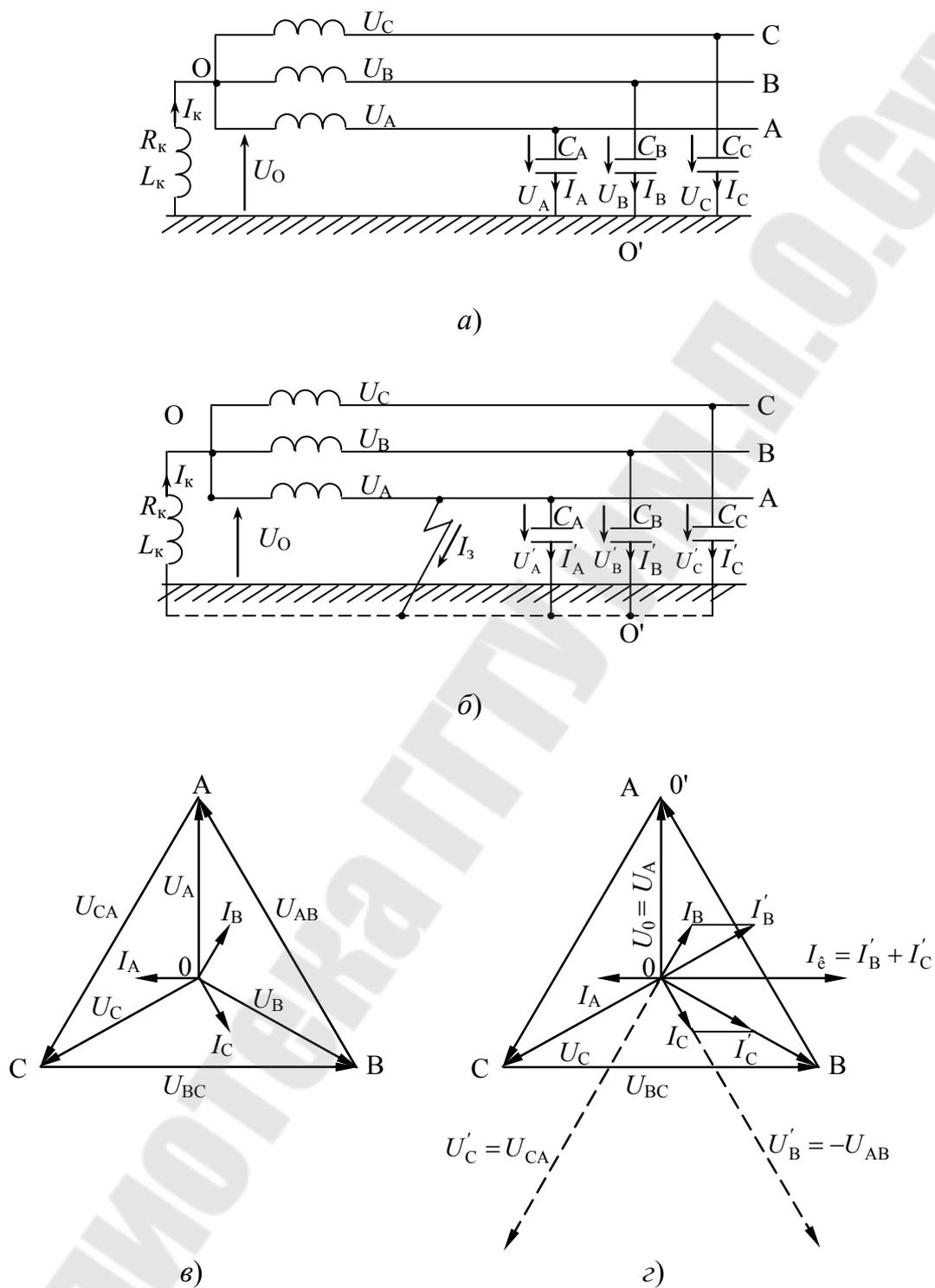


Рис. 3.2 - Система с напряжением выше 1000 В с компенсированной нейтралью:

- а) расчетная схема замещения в нормальном режиме;
- б) расчетная схема замещения в аварийном режиме работы;

- в) векторная диаграмма токов и напряжений в нормальном режиме;
- г) векторная диаграмма токов и напряжений в аварийном режиме

При этом заземляющая катушка оказывается под фазным напряжением

$$\dot{U}_O = \dot{U}_A$$

и протекает индуктивный ток катушки $I_{\hat{\epsilon}}$, который отстает от напряжения катушки на 90° (рис. 3.2, г). Ток замыкания на землю в этом случае определяется по следующему выражению

$$\dot{I}_{\zeta} = \dot{I}_{\hat{\epsilon}} - (\dot{I}'_B + \dot{I}'_C).$$

При резонансной настройке катушки, когда

$$j\omega L_{\hat{\epsilon}} = \frac{1}{j3\omega C} \quad (3.7)$$

теоретически ток замыкания на землю равен нулю. Однако на практике, из-за наличия активных составляющих в сопротивлении катушки и изоляции фаз относительно земли, ток замыкания на землю не равен нулю.

Системы с глухозаземленной нейтралью

Однофазное замыкание на землю в системах с глухозаземленной нейтралью (трехпроводной и четырехпроводной напряжением до и выше 1000 В) представляет собой однофазное короткое замыкание (рис. 3.3), так как поврежденная фаза оказывается короткозамкнутой через землю и нейтраль трансформатора или генератора. Ток в месте повреждения ограничен только сопротивлениями источников питания и линий и поэтому является током КЗ. При этом ток замыкания практически не зависит от величины сопротивления изоляции и емкости системы относительно земли.

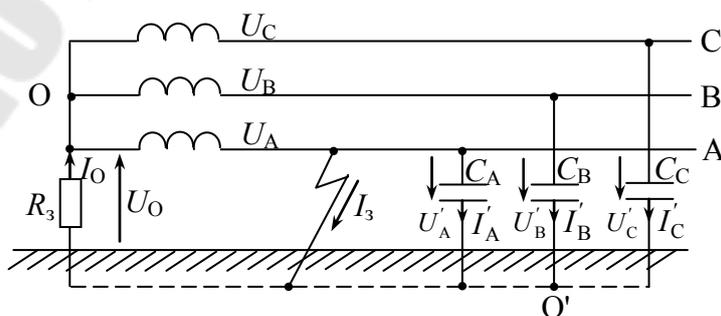


Рис. 3.3 - Система с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме

Ток однофазного замыкания на землю, например, фазы А определяется выражением

$$I_{\zeta} = \frac{U_A}{R_{\zeta} + R_A},$$

где R_{ζ} – сопротивление заземления нейтрали,

R_A – сопротивление провода фазы А до места повреждения.

И так как величины сопротивлений R_{ζ} и R_A малы, то ток КЗ достигает больших значений (тысячи ампер) и приводит в действие релейную защиту, отключающую поврежденный участок системы.

Приборы и оборудование

Лабораторная установка собрана в виде модели системы электроснабжения 3-х фазного тока, позволяющая путем простейших переключений создавать различные режимы нейтрали. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис.4. Распределение емкости проводов относительно земли в трехфазной системе представлены на стенде в виде сосредоточенных емкостей C_A , C_B , C_C , соответственно фаз А, В и С относительно земли.

Изменяя величины С1-С9 при помощи выключателей S1-S9, можно получить систему с разными параметрами C_A , C_B , C_C .

Ввод трехфазного переменного тока на стенд осуществляется автоматом QF1. Выключатели S10-S12 позволяют осуществить работу системы с различными режимами нейтрали.

Перед началом работы все автоматы и выключатели на стенде должны быть в положении «отключено».

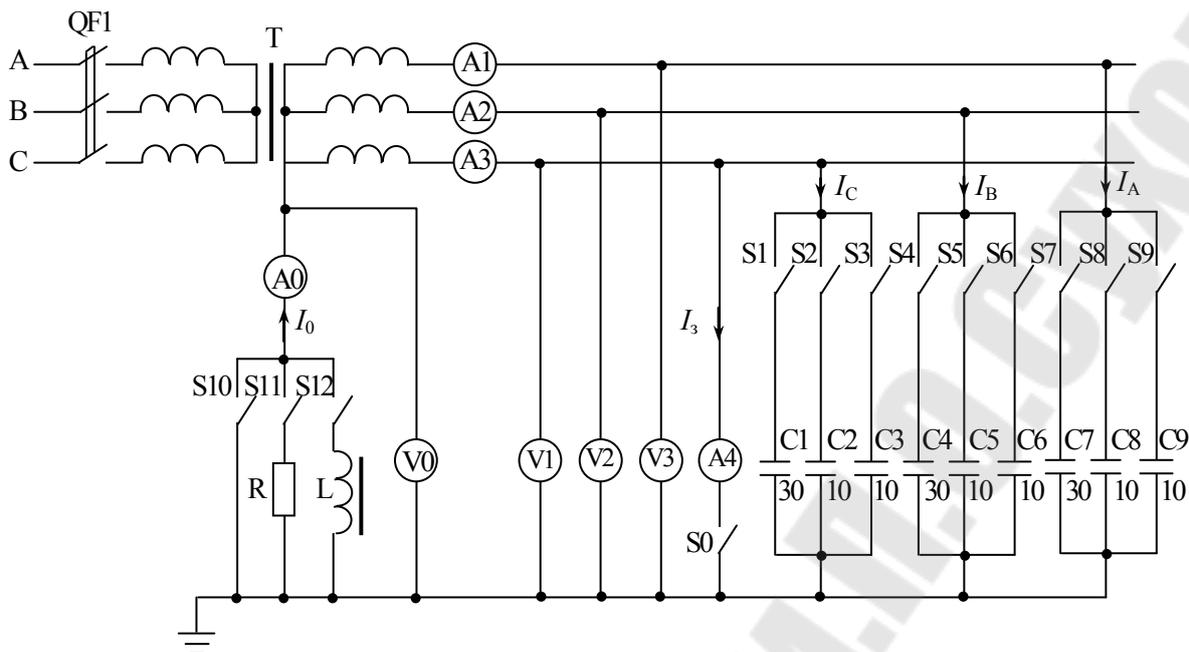


Рис. 3.4- Принципиальная схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

I. Ознакомиться со схемой, приборами и оборудованием лабораторной установки.

II. Выявить особенности системы с глухозаземленной нейтралью в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов заземлить нейтраль включением S10 и подать напряжение в систему автоматом QF1.

ОПЫТ 1. Нормальный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50 \text{ мкФ}$ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины напряжения каждой фазы U_A, U_B, U_C (с помощью вольтметров V1-V3) и нулевой точки трансформатора U_0 (с помощью вольтметра V0) относительно земли и величины токов в проводах фаз I_A, I_B, I_C , (амперметрами A1-A3) и нейтрали I_0 (амперметр A0). Результаты измерений записать в таблицу (см. образец формы).

ОПЫТ 2. Нормальный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы;
 $C_A = 10 \text{ } \hat{\Omega} ; C_B = 30 \text{ } \hat{\Omega} ; C_C = 50 \text{ } \hat{\Omega} .$

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$.
Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 3. Аварийный режим работы сети.

1. Произвести замыкание фазы С на землю при любом состоянии системы с глухозаземленной нейтралью. Замыкание осуществить включением автомата S0. При этом следует **убедиться в отсутствии** в схеме амперметра А4, который может выйти из строя при прохождении через него тока замыкания на землю в системе с глухозаземленной нейтралью. Система должна отключиться защитой.

2. Возвратить все выключатели в положение «отключено».

III. Выявить особенности системы с нейтралью, заземленной через активное сопротивление в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов заземлить нейтраль через активное сопротивление R включением S11 и подать напряжение в систему.

ОПЫТ 4. Нормальный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы
 $C_A = C_B = C_C = 50 \text{ } \hat{\Omega}$ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$.
Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 5. Нормальный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы;
 $C_A = 10 \text{ } \hat{\Omega} ; C_B = 30 \text{ } \hat{\Omega} ; C_C = 50 \text{ } \hat{\Omega} .$

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$.
Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 6. Аварийный режим работы системы.

1. Установить симметричное состояние системы
 $C_A = C_B = C_C = 20 \text{ } \hat{\Omega} .$

2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.

3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$ и ток замыкания на землю I_φ . Результаты измерений внести в таблицу.

4. По данным измерений подсчитать величину сопротивления R , через которое заземлена нейтраль и внести ее в таблицу.

5. Возвратить все выключатели в положение «отключено».

IV. Выявить особенности системы с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов в системе с изолированной нейтралью подать напряжение в систему автоматом QF1.

ОПЫТ 7. Нормальный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50 \text{ îêÔ}$ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 8. Нормальный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы; $C_A = 10 \text{ îêÔ}$; $C_B = 30 \text{ îêÔ}$; $C_C = 50 \text{ îêÔ}$.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 9. Аварийный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 20 \text{ îêÔ}$.

2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.

3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$ и I_φ . Результаты измерений внести в таблицу.

ОПЫТ 10. Аварийный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы; $C_A = 20 \text{ îêÔ}$; $C_B = 30 \text{ îêÔ}$; $C_C = 40 \text{ îêÔ}$.

2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.

3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$ и I_φ . Результаты измерений внести в таблицу.

4. Возвратить все выключатели в положение «отключено».

5. Выявить особенности системы с компенсированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов заземлить нейтраль через катушку индуктивности включением S12 и подать в систему напряжение.

ОПЫТ 11. Нормальной режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50 \text{ мкФ}$ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 12. Аварийный режим работы системы

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 10 \text{ мкФ}$.

2. Произвести замыкание фазы C на землю включением автомата S0.

3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$ и I_ϕ . Результаты измерений внести в таблицу.

4. Отключить катушку индуктивности от земли автоматом S12. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$ и I_ϕ и результаты измерений внести в таблицу.

5. По окончании опыта установить S0 в положение "отключено", а S12 – "включено", подготовив тем самым схему для следующего опыта.

ОПЫТ 13. Аварийный режим работы системы

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 20 \text{ мкФ}$.

Пункты 2-5 аналогичны соответствующим пунктам опыта 12.

ОПЫТ 14. Аварийный режим работы системы

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 30 \text{ мкФ}$.

Пункты 2-5 аналогичны соответствующим пунктам опыта 12.

После выполнения опыта 14 все автоматы и выключателя должны быть отключены.

Меры безопасности

5. Не включать стенд без разрешения преподавателя.

6. Не касаться токоведущих частей стенда при включенном питании.

7. При анализе системы с глухозаземленной нейтралью в

аварийном режиме (опыт 3) не включать в схему амперметр для измерения тока замыкания.

Содержание отчета

1. Принципиальные схемы исследованных систем с указанием принятых положительных направлений токов и напряжений в нормальном и аварийном режимах.

2. Результаты измерений и расчетов по результатам опытов 1-14 в виде таблиц.

3. Основные расчетные формулы.

4. Векторные диаграммы напряжений и токов в нормальном и аварийном режимах при различных параметрах исследованных систем. Необходимые расчеты для построения диаграмм.

5. Общие выводы по свойствам систем с различными режимами нейтрали.

Таблица 3.1

Образец формы таблицы с результатами измерений и расчетов

№ п/	Исследуемая система и режим работы	№ опыта	Результаты измерений									Расчетные данные
			U_A	U_B	U_C	U_0	I_A	I_B	I_C	I_0	I_3	
1	Глухозаземленная нейтраль											
	Симметричное состояние											
	Не симметричный состояние											
	Аварийное состояние											

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на выбор режима работы нейтрали в электрических сетях?

2. Нормы токов короткого замыкания в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью.

3. Какой тип нейтрали применяется в установках 110 кВ и выше?

4. Какой тип нейтрали применяется в установках до 1 кВ?

5. Как определить параметры индуктивности при компенсации емкостных токов?

6. Какое напряжение будет испытывать изоляция при однофазном замыкании на земле в сетях с изолированной нейтралью?

7. Нормы на величины допустимых значений сопротивления заземляющих устройств в различных сетях.

8. Преимущества сетей с резистивным заземлением нейтрали.

Список литературы

1. Л.А.Бессонов. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1973.

2. А.А. Федоров, В.З. Каменева. Основы электроснабжения промышленных предприятия. – М.: Энергия, 1979.

ЛАБОРАТОЯ РАБОТА № 4

Тема: Определение групп соединения трехфазных трансформаторов

Цель работы: изучение способов определения групп соединения трехфазных трансформаторов.

Теоретические сведения

Согласно ГОСТ силовые трансформаторы имеют стандартные схемы в группы соединения обмоток.

Обмотки высшего и низшего напряжения трехфазных трансформаторов допускают три основных способа соединений: звезда, треугольник, зигзаг.

Группа соединения трансформатора определяет угол сдвига между векторами вторичного и первичного линейных напряжений соответствующих обмоток. Смещение этих векторов, или угол между ними, зависит от схемы соединения обмоток и направления витков обмотки катушек, которое может быть левым или правым.

Соединяя обмотки высокого и низкого напряжения одним из способов, можно получить различные группы соединения трехфазных трансформаторов.

Для трехфазных трансформаторов применяют следующие группы соединения обмоток высшего и низшего напряжений:

$Y/Y-0$; $Y/\Delta-11$; Y/Y_0-0 ; $Y_0/\Delta-11$; $\Delta/\Delta-0$.

Обозначения $Y/Y-0$, $Y/\Delta-11$ и другие указывают схемы и группы соединения обмоток трансформаторов – угловое смещение векторов линейных напряжений обмотки низшего напряжения по отношению к векторам линейных напряжений обмотки высшего напряжения. Первый знак в обозначении относится к обмотке высшего напряжения, второй к обмотке низшего напряжения. Число указывает угловое смещение 0° , число 11 – угловое смещение 330° , так как угловое смещение в 30° принято за единицу.

Для проверки группу соединения обмоток у готового трансформатора могут использоваться следующие методы:

– метод непосредственного измерения угла между векторами линейных э.д.с. первичной и вторичной обмоток одноименных фаз с помощью фазометра.

– метод измерения электромагнитной системы соответствующих напряжений между зажимами обмоток высшего и низшего

напряжения. На основании измеренных данных строятся векторная диаграмма напряжения, по которой определяется группа соединения трансформатора.

Чтобы получить заданную группу соединений необходимо, прежде всего, определить начало и конец каждой из обмоток трансформатора.

Определение начала и конца каждой обмотки проводится методом постоянного тока или с помощью фазометра.

В настоящей работе используется метод постоянного тока, как наиболее простой широко применяющийся в практике. В основу этого метода положено сопоставление направления э.д.с, индуктируемых в обмотках высшего и низшего напряжения, расположенных на одном или разных стержнях трансформатора. Наведенные э.д.с. будет иметь одинаковое направление в том случае, если они направлены в любой момент времени в обеих обмотках от начала к концу или наоборот. Причем направление намотки витков обмоток должно быть одинаковым.

Прядок выполнения работы

1. Определение выводов обмоток трансформатора.
2. Определение начала и концов всех обмоток трансформатора методом постоянного тока.
3. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью фазометра.
4. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью вольтметра.

Методика проведения эксперимента.

Для определения начала и конца обмотки необходимо иметь источник постоянного тока напряжением 4-6 В и вольтметры магнитоэлектрической системы с двухсторонним отклонением стрелки. На приборах должна быть указана полярность зажимов.

1. Определение выводов обмоток может проводиться одним из следующих способов:

1.1. С помощью источника постоянного тока и амперметра (рис. 4.1). При подключении источника и амперметра к выводам одной обмотки (рис. 4.1, а) стрелка амперметра отклонится. В случае подключения к выводам различных обмоток (рис. 4.1, б) отклонения стрелки не последует, так как не будет электрической цепи для протекания тока.

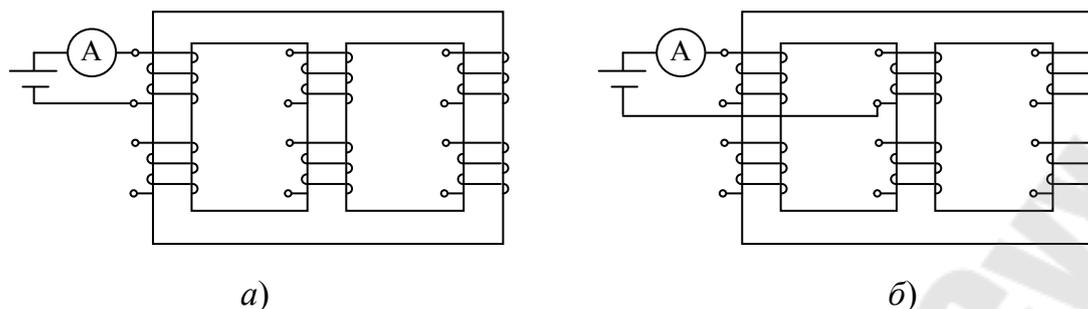


Рис. 4.1- Определение выводов обмоток

1.2. С помощью мегомметра. При подключении мегомметра к выводам одной обмотки стрелка мегомметра покажет сопротивление обмотки. В случае подключения к выводам различных обмоток стрелка мегомметра покажет сопротивление равное бесконечности (сопротивление изоляции).

2. Определение начала и концов обмоток производится в следующем порядке:

2.1. Произвольно (условно) выбирается начало и конец одной из первичных обмоток.

К выбранной обмотке подключается источник постоянного тока и отмечается зажим, на который подан плюс источника. К остальным обмоткам подключаются вольтметры, как показано на рис.2.

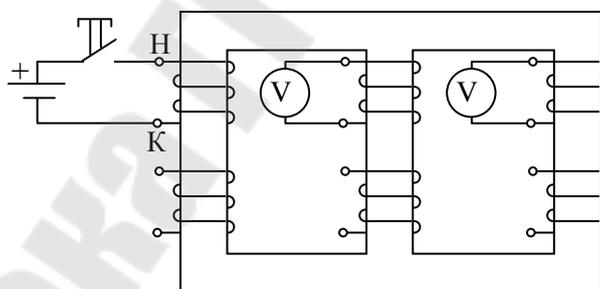


Рис. 4.2 - Определение начала и концов обмоток

Включается на короткое время рубильник (нажимается кнопка) и регистрируются отклонения стрелок приборов.

Если зажимы приборов и источника с отметкой (+) подключены к началам всех обмоток трансформатора, то показания приборов, подключенных к обмоткам, расположенных на других стержнях трансформатора, окажутся отрицательными.

Объясняется это тем, что в обмотках, расположенных на одном и том же стержне, индуктируемая э.д.с. совпадает по направлению с э.д.с. исходной обмотки (направление витков обмоток при этом

предполагается одинаковым). В обмотках, расположенных на других стержнях, э.д.с. направлены навстречу э.д.с. исходной обмотки, так как для этих стержней изменилось направление магнитного потока.

2.2. Аналогично п. 2.1. определяются начала и концы вторичных обмоток.

2.3. Определяются первичные и вторичные обмотки, расположенные на одном стержне магнитопровода. Для этого собирается схема представленная на рис. 4.3. После подключения источника питания к одной из первичных обмоток (путем нажатия кнопки) стрелки вольтметров подключенных к вторичным обмоткам отклонятся. Максимальное отклонение стрелки будет у вольтметра включенного в обмотку расположенную на одном стержне с обмоткой, к которой подключен источник.

2.4. Проводится окончательная проверка. Для этого к одной из первичных обмоток подключается источник постоянного тока, (+) к началу обмотки. К вторичным обмоткам подключаются вольтметры, (+) к началу обмоток (рис. 4.3).

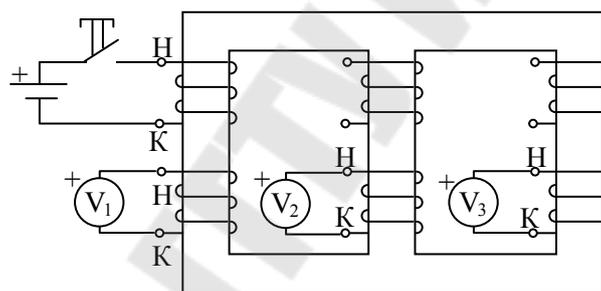


Рис.4.3 - Окончательная проверка правильности определение начала и конца обмоток

В случае правильного определения начала и концов обмоток стрелка первого вольтметра отклонится в положительную сторону (т.к. обмотки к которым подключен источник и первый вольтметр находятся на одном стержне, то магнитный поток, а, следовательно, и ЭДС в них совпадают), а стрелка второго и третьего вольтметра – в отрицательную (т.к. обмотки к которым подключен источник и второй (третий) вольтметр находятся на разных стержнях, то магнитный поток, а, следовательно, и ЭДС в них имеют противоположные направления).

Если показания всех приборов противоположны (это объясняется тем, что начала и концы обмоток, к которым подключался источник в п. 2.1, 2.2, выбирались условно), то

требуется поменять маркировку (начало \Leftrightarrow конец) у всех первичных либо вторичных обмоток.

В случае недостаточного количества приборов можно производить поочередно определение начал и концов обмоток одним прибором (вольтметром магнитоэлектрической системы).

Результаты определения начал и концов обмоток записываются в тетрадь и показываются для проверки преподавателю.

3. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью фазометра.

3.1. Преподавателем задается схема соединения обмоток трансформатора.

3.2. Для определения группы соединения обмоток трансформатора собирается схема согласно рис. 4.4.

Обмотка напряжения фазометра подключается к зажимам обмотки высшего напряжения трансформатора (например, к зажимам **A** и **B**).

Токовая обмотка фазометра подключается соответственно к одноименным зажимам обмотки низшего напряжения через добавочное сопротивление (в данном случае к зажимам **a** и **b**). Как видно на рис. 4.4, ток I , протекающий через токовую обмотку фазометра будет совпадать по направлению с э.д.с. возникающей на выводах **a** и **b**. Протекающий по обмотке напряжения ток окажется одинакового направления с э.д.с., появляющейся на зажимах **A** и **B**. Следовательно, угол между токами будет равен углу между соответствующими линейными э.д.с. обмоток трансформатора.

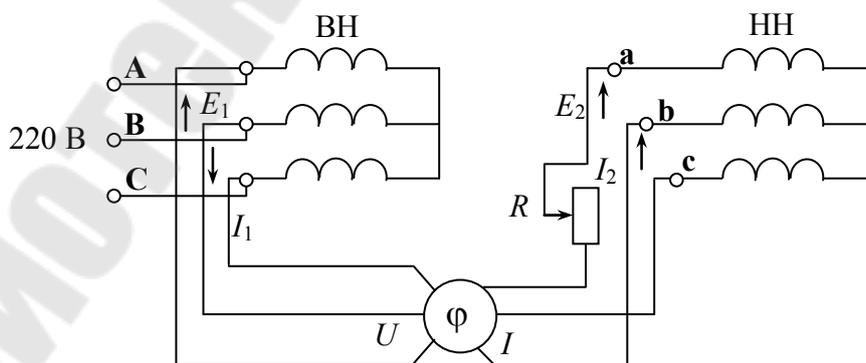


Рис. 4.4

После измерения угла строится векторная диаграмма э.д.с. обмоток высшего и низшего напряжения и определяется группа соединения обмоток трансформатора.

Пользуясь указанным методом, желательно иметь фазометр со шкалой в 360° .

ПРИМЕЧАНИЕ: В случае применения трехфазного фазометра к обмоткам высшего напряжения трансформатора подключают три вывода обмоток напряжения к фазам А, В, С. Два вывода токовой обмотки фазометра подключаются соответственно к зажимам а и в обмотки низшего напряжения.

4. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью вольтметра.

4.1. Преподавателем задается схема соединения обмоток трансформатора.

4.2. Применяя данный метод, соединяют одноименные зажимы, например А и а (рис. 4.5) и производят измерения вольтметром между следующими выводами:

- | | | |
|----------|----------|----------|
| 1) b – В | 3) c – В | 5) A – В |
| 2) b – С | 4) c – С | |

Питание подается на обмотку высшего напряжения трансформатора.

В зависимости от группы соединения результаты измерений будут различными.

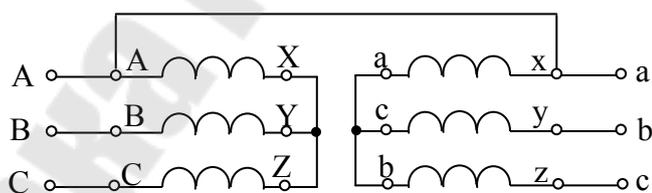


Рис. 4.5 - Определение группы соединения обмоток трансформатора методом вольтметра

По данным измерений строится векторная диаграмма напряжений и определяется группа соединений трансформатора.

Пример построения векторной диаграммы

Допустим в результате проведенного эксперимента по п. 4.2 получены следующие результаты:

$$\begin{array}{ll} B - b = 270 \text{ В}; & B - c = 200 \text{ В}; \\ C - b = 300 \text{ В}; & C - c = 270 \text{ В}. \end{array}$$

Линейное напряжение, подведенное из сети к обмотки высшего напряжения трансформатора составляет 220 В.

Выбираем следующий масштаб: $1 \text{ мм} = 50 \text{ В}$.

Строим в масштабе треугольник линейных напряжений для обмоток высокого напряжения (рис. 4.6, а). Из точки В и С делаем засечки раствором циркуля, равным соответственно 270 В и 300 В в выбранном масштабе и получаем точку **b**. Из точек В и С раствором циркуля равным 200 и 270 В в прежнем масштабе делаем второй раз засечки и находим точку **c**. Точки А и **a** на диаграмме совпадают, так как соответствующие зажимы трансформатора были соединены накоротко.

По найденным точкам строится треугольник линейных напряжений обмоток низшего напряжения. Выносим отдельно одноименные векторы линейных напряжений (например, U_{AB} и U_{ab}), представляющие собой жесткую систему, как показано на рис. 4.6, б.

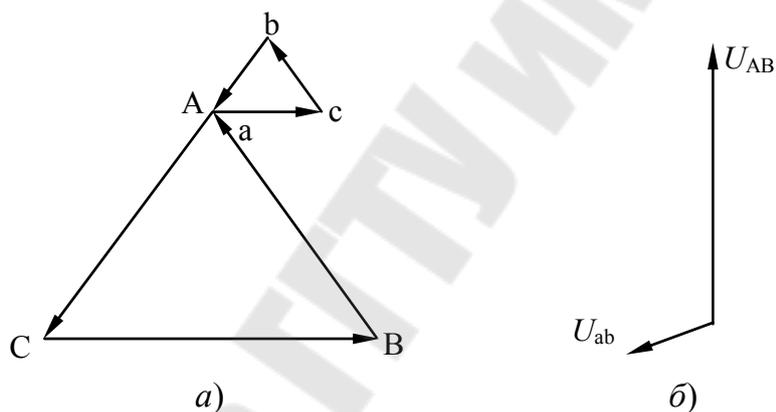


Рис. 4.6 - Построение векторной диаграммы

Совместим мысленно вектор высшего напряжения U_{AB} с цифрой 12 циферблата часов, вектор низшего напряжения U_{ab} установится на цифре 8, Это означает, что испытуемый трансформатор имеет 8 группу соединения обмоток.

Меры безопасности

1. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Не проводить работы по монтажу схем при включенном стенде.
3. Не прикасаться к неизолированным частям стенда и измерительных приборов (клеммам) при включенном стенде.

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Краткое описание проведенных экспериментов по определению начал и концов обмоток, и групп соединения обмоток трансформатора.
3. Результаты измерений и диаграммы.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие группы соединения обмоток высшего и низшего напряжений применяют трехфазных трансформаторах?
2. Как определить начала и концы обмоток?
3. Что понимают под группой соединения обмоток трансформатора?
4. Почему (при выполнении п. 2.3) максимальное отклонение стрелки будет у вольтметра включенного в обмотку (вторичную) расположенную на одном стержне с обмоткой (первичной), к которой подключен источник?
5. При каких условиях получаются четные и нечетные группы соединения трансформаторов?
6. Как определить группу соединения трехфазного трансформатора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Защита цеховых электрических сетей предохранителями и автоматическими выключателями

Цель работы:

1. Изучение конструкций автоматических выключателей и предохранителей.
2. Снятие время-токовых характеристик автоматических выключателей.

Теоретические сведения

Для защиты цеховых цепей постоянного и переменного тока применяются автоматические выключатели. Однако по сравнению с предохранителями, автоматические выключатели являются более совершенными аппаратами ввиду готовности к быстрым повторным включениям и возможности защиты от перегрузок в широком диапазоне токов. Автоматы выпускаются в одно-, двух- и трехполюсном исполнении на токи до 6300 А при напряжении переменного тока до 660 В и постоянного тока до 1 кВ.

Автоматический выключатель состоит из корпуса, контактов с дугогасительной системой, привода, механизма свободного расцепления, расцепителей, вспомогательных контактов.

Основными элементами, при срабатывании которых автоматический выключатель отключается мгновенно или с выдержкой времени, являются расцепители. Чаще всего автоматические выключатели встречаются со следующими расцепителями:

- Электромагнитный расцепитель
- Электродинамический расцепитель
- Тепловой расцепитель
- Комбинированный расцепитель.

Электромагнитный расцепитель осуществляет защиту от токов коротких замыканий. Действие автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями основано на втягивании сердечника электромагнита при прохождении по его обмотке тока, величина которого превышает величину тока уставки. При этом усилие через толкатель передается на удерживающую защелку контакторной группы, в результате чего контакты под действием пружины размыкаются. Автоматические выключатели размыкают

главную цепь приемника электроэнергии. В исходное положение контакты автоматических выключателей возвращаются вручную нажатием на рукоятку. Подвижные контакты при этом перемещаются к неподвижным. Электромагнитный расцепитель имеет свой ток отключения при КЗ (уставка КЗ). Этот ток выражается в амперах, или чаще, – в кратности к номинальному току.

Электродинамический расцепитель используется для защиты от коротких замыканий в автоматах с большими номинальными токами. Срабатывание обеспечивается электродинамическими силами, отталкивающих силовые контакты.

Тепловой расцепитель осуществляет защиту от токов перегрузок. Основа теплового расцепителя – биметаллическая (в последнее время триметаллическая) пластина, которая при нагреве изменяет свою форму, и этим обеспечивает срабатывание расцепителя.

Работа автоматических выключателей с тепловыми расцепителями основана на изгибе биметаллических пластин под действием нагрева. При прохождении тока по нагревателю с активным сопротивлением количество выделенного в ней тепла пропорционально квадрату величины тока. Температура же этого нагревателя и соседней с ним пластины пропорциональна количеству выделенного тепла.

Комбинированный расцепитель осуществляет защиту от токов коротких замыканий и от токов перегрузок.

Автоматические выключатели характеризуются: номинальным напряжением и током автомата, номинальным током расцепителя, током трогания или током срабатывания автомата, предельным током отключения автомата (отключающая способность), собственным временем срабатывания, защитной (время-токовой) характеристикой

Наименьший ток, вызывающий отключение автоматического выключателя, называют *током трогания* или *током срабатывания*, а настройку расцепителя автоматического выключателя на заданный ток срабатывания – *уставкой тока срабатывания*.

Выключатели изготавливаются со следующими **дополнительными сборочными единицами** (только те марки, для которых это предусмотрено):

– свободными контактами (СК), (определяют положение автомата (вкл/выкл.);

– вспомогательными контактами сигнализации автоматического отключения (ВСК), (сигнализируют срабатывание защиты автомата);

– электромагнитным приводом (ЭП);

– независимым расцепителем (НР), (обеспечивает отключение выключателя при подаче на катушку независимого расцепителя напряжения);

– нулевым расцепителем (РНН), (обеспечивает отключение выключателя без выдержки времени при напряжении на выводах его катушки ниже 0,1-0,35 номинального (в зависимости от марки автомата) и препятствует включению выключателя при напряжениях на выводах катушки 0,1 номинального и ниже);

– минимальным расцепителем (РМН), (обеспечивает отключение выключателя без выдержки времени при напряжении на выводах его катушки ниже 0,35-0,7 номинального (в зависимости от марки автомата) и препятствует включению выключателя при напряжениях на выводах катушки 0,35 номинального и ниже);

– дополнительным кожухом (для увеличения степени защиты автомата от окружающей среды);

– блокировкой положения «включено» и «отключено» замком;

По способу присоединения автоматы делятся на

– стационарные

– выдвижные.

Стационарные автоматы по способу монтажа могут быть как переднего присоединения, так и заднего. Переднее присоединение бывает как с креплением на din-рейке, так и с креплением винтами или болтами.

Автоматические выключатели выпускаются различных серий, некоторые из них приведены ниже: АВ; ВА; АЕ; АП; А.

Описание стенда для испытания выключателей

Стенд позволяет снять время-токовые характеристики автоматических выключателей и плавких предохранителей. На стенде установлены автоматические выключатели и имеются гнезда для подключения плавких предохранителей.

Силовая часть стенда содержит магнитный пускатель КМ для подачи напряжения на стенд, трансформаторы Т1 (ЛАТР), Т2 (нагрузочный), обеспечивающие установку необходимой величины тока, испытуемые выключатели и предохранители. Кнопки SB1, SB2

и рукоятка автотрансформатора Т1 выведены на лицевую панель стенда.

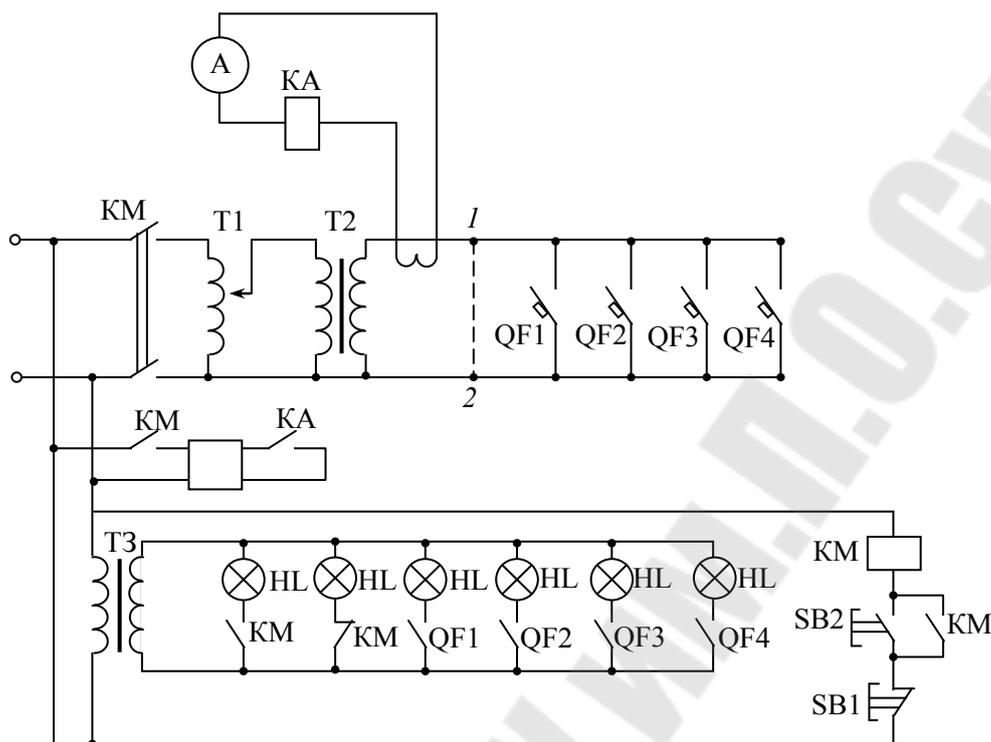


Рис. 5.1- Принципиальная схема стенда

Необходимую величину напряжения и тока устанавливают при зашунтированных выключателях или предохранителях, для чего между точками 1, 2 устанавливается перемычка (провод большого сечения).

Цепи измерения, управления и сигнализации содержат амперметр, реле тока КА, секундомер и лампочки сигнализации НЛ включенного положения пускателя КМ и испытуемых выключателей QF1-QF4. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 5.1.

Прядок выполнения работы

1. У выключателя, который предназначен для разборки, снимается крышка и изучается его устройство. При замкнутых контактах нажмите отверткой на биметаллическую пластину так, чтобы защелка освободилась, и проследите за работой рычажного механизма при размыкании контактов.

2. Поочередно, для автоматических выключателей, заданных преподавателем, производится снятие зависимости $t(I)$, для этого:

а) по схеме рис. 5.1 между точками (клеммами) 1 и 2 установите перемычку и кнопкой SB2 “ПУСК” включите стенд. При этом

секундомер и автоматические выключатели, установленные на стенде должны быть отключены;

б) плавным поворотом рукоятки автотрансформатора установите ток, равный 90 А;

в) после установки необходимой величины тока отключите стенд и снимите перемычку, включите секундомер и испытуемый автоматический выключатель, при этом должна загореться сигнальная лампа, установленная над выключателем $t_{\text{нд}}$;

г) кнопкой SB2 "ПУСК" включите стенд. Определите по секундомеру время срабатывания тепловых и электромагнитных расцепителей автоматического выключателя;

д) полученные результаты занесите в таблицу 5.1.

Подсчитайте кратность перегрузки:

$$K_{\text{г}} = I_{\text{г}} / I_{\text{н}} ,$$

где $I_{\text{г}}$ – ток нагрузки, А;

$I_{\text{н}}$ – номинальный ток испытуемого выключателя, А.

Таблица 5.1

Наименование автоматического выключателя	Номинальный ток аппарата	Ток нагрузки	Кратность перегрузки	Время срабатывания

е) отключите стенд и секундомер. Установите перемычку между точками 1 и 2. Включите стенд плавным поворотом рукоятки автотрансформатора установите ток, равный 100 А. Прodelайте все согласно пунктам в-д. Затем увеличьте ток до 110 А и определите время срабатывания испытуемого автоматического выключателя. После подсчета величины $K_{\text{г}}$ постройте время-токовую характеристику.

Для снятия время-токовых характеристик плавких предохранителей необходимо заготовить 6-8 плавких вставок одного номинала. Снятие характеристик производится так же как и для автоматических выключателей согласно пункту 2.

Меры безопасности

4. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
5. Не проводить работы по монтажу схем при включенном стенде.

6. Не прикасаться к незащищенным частям стенда и измерительных приборов (клеммам) при включенном стенде.

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Электрическая схема рис. 5.1 с перечнем приборов и оборудования и таблица 5.1.
3. График зависимости $t_{\text{н\delta}} = f(I_i)$ для испытуемых автоматических выключателей.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение защитных и коммутационных аппаратов?
2. Назовите преимущества автоматических выключателей.
3. Какие встречаются расцепители и их маркировка?
4. Поясните принцип работы электромагнитного расцепителя.
5. Поясните принцип работы теплового расцепителя.
6. Поясните принцип работы полупроводникового расцепителя.
7. Что понимают под током отсечки автомата?
8. Чему равен ток отсечки испытуемых выключателей?
9. Что такое кратность токовой отсечки?

Список литературы

1. Елкин В.Д., Елкина Т.В. Электрические аппараты. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: – Энергоатомиздат, 1988, – 720 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: Основные элементы систем электроснабжения промышленных предприятий

Цель работы: Изучение конструкции, назначения, область применения и условий выбора основных элементов систем электроснабжения промышленных предприятий.

Содержание отчета

В качестве отчета требуется дать краткую характеристику конструкции, назначения, область применения и условия выбора следующих элементов цеховых сетей:

- защитные аппараты (автоматические выключатели и плавкие предохранители);
- проводники (провода и кабели);
- шинопроводы (магистральные, радиальные, троллейные);
- электротехнические устройства (шкафы и щиты).

Список литературы

1. Елкин В.Д., Елкина Т.В. Электрические аппараты. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
2. Сацукевич М.Ф. Электрические аппараты управления и защиты. – Мн.: Беларусь, 1984. – 94 с.
3. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. – М.: Высшая школа, 2002. – 248 с.
4. Соколов Б.А., Соколова Н.Б. Монтаж электрических установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.
5. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: Учебное пособие. – Мн.: НПООО «ПИОН», 2002. – 457 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	3
Лабораторная работа № 2	15
Лабораторная работа № 3	23
Лабораторная работа № 4	39
Лабораторная работа № 5	47
Лабораторная работа № 6	53

**Ус Анатолий Георгиевич
Бахмутская Валентина Владимировна
Шведова Ольга Сергеевна
Петров Иван Вячеславович**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01
«Электроснабжение промышленных предприятий»
дневной и заочной форм обучения**

**В двух частях
Часть 1**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 06.06.14.

Рег. № 68Е.

<http://www.gstu.by>